

ЦЕРЕБРАЛЬНАЯ ОКСИМЕТРИЯ В КАРДИОХИРУРГИИ

А. Н. Шепелюк, Т. В. Клыпа, Ю. В. Никифоров

НИИ общей реаниматологии им. В. А. Неговского РАМН, Москва
Центр сердечно-сосудистой и эндоваскулярной хирургии КБ № 119 ФМБА России, Москва

Cerebral Oximetry in Cardiac Surgery

A. N. Shepelyuk, T. V. Klypa, Yu. V. Nikiforov

V. A. Negovsky Research Institute of General Reanimatology, Russian Academy of Medical Sciences, Moscow, Russian Federation
Cardiovascular and Endovascular Surgery Center, Clinical Hospital One Hundred and Nineteen, Federal Biomedical Agency of Russia

В обзоре по данным многочисленных современных источников описаны различные методы нейромониторинга при операциях на сердце с искусственным кровообращением. Показана важность и необходимость нейромониторинга для ранней диагностики и предотвращения неврологических осложнений после кардиохирургических операций. Особое внимание уделяется методу церебральной оксиметрии, описываются возможности и преимущества данного метода. Показано, что коррекция значений церебральной оксиметрии улучшает показатели выживаемости, снижает количество осложнений послеоперационного периода. Отсутствие мониторинга церебральной оксиметрии лишает клинициста важной информации, возможностей оптимизировать состояние пациента, предотвратить потенциально опасные осложнения, что позволяет сделать вывод о необходимости применения методики церебральной оксиметрии в рамках нейромониторинга в кардиохирургии. *Ключевые слова:* искусственное кровообращение, церебральная оксиметрия, неврологическая дисфункция, церебральная оксигенация.

Based on the data of numerous current references, the review describes different neuromonitoring methods during cardiac surgery under extracorporeal circulation. It shows that it is important and necessary to make neuromonitoring for the early diagnosis and prevention of neurological complications after cardiac surgery. Particular attention is given to cerebral oximetry; the possibilities and advantages of this technique are described. Correction of cerebral oximetric values is shown to improve survival rates and to reduce the incidence of postoperative complications. Lack of cerebral oximetry monitoring denudes a clinician of important information and possibilities to optimize patient status and to prevent potentially menacing complications, which allows one to conclude that it is necessary to use cerebral oximetry procedures within neuromonitoring in cardiac surgery. *Key words:* extracorporeal circulation, cerebral oximetry, neurological dysfunction, cerebral oxygenation.

Неуклонное развитие кардиохирургии в нашей стране и во всем мире дает возможность оптимизации помощи пациентам, нуждающимся в операциях на сердце. Однако, несмотря на быстрое развитие кардиохирургии, спектр ее осложнений практически не меняется с годами, что является стимулом для дальнейших разработок мер профилактики и повышения эффективности лечения послеоперационных осложнений [1, 2].

Одной из самых тяжелых и крайне нежелательных категорий осложнений после кардиохирургических операций являются церебральные осложнения. Их развитие увеличивает время госпитализации пациентов в отделении реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ), стационаре, удлинняет период реабилитации, увеличивает летальность, является ведущей причиной заболеваемости и инвалидизации после кардиохирургических операций [3].

Предложены различные классификации послеоперационных неврологических осложнений (НО), однако, в целом авторы едины, разделяя НО на более тяжелые или фатальные и менее тяжелые или преходящие типы [3–6].

По данным различных исследований частота клинически явного неврологического повреждения или инсульта при

операциях с искусственным кровообращением (ИК) составляет 1–13%. Годичная летальность при развитии инсульта составляет 15–30% [1, 3, 4, 6, 7]. Кома и делирий развиваются в 3–5% и 8–15% наблюдений, соответственно. Дисфункция центральной нервной системы после операций с ИК манифестируется в виде нейрокогнитивных и психических нарушений у 3–90%, которые могут сохраняться в 10–35% до 6-и недель, в 15% — до года, в некоторых случаях остаются до 5 лет после операции [2, 4, 5, 8, 9].

Факторы риска развития НО при операциях с ИК по данным различных авторов представлены в таблице.

К мерам профилактики, направленным на снижение неврологических осложнений относятся обязательное применение артериальных фильтров в контуре ИК, проведение адекватной эвакуации воздуха перед снятием зажима с аорты, использование эпияортального ультразвукового исследования для правильного выбора места канюляции и наложения зажима, использование α -Stat методики для оптимального поддержания кислотно-основного состояния во время ИК, использование умеренной гипотермии и нормотермии, поддержание адекватного перфузионного давления, контроль и агрессивная коррекция гипергликемии во время ИК [2, 3, 6, 7, 12–14, 17].

Ранняя интраоперационная диагностика изменений состояния головного мозга (ГМ) и максимально быстрое начало коррекции позволяет предотвратить развитие неврологических осложнений при операциях с ИК [3, 11, 21, 22].

Спектр возможных методов нейромониторинга в кардиохирургии узок за счет исключения инвазивных нейрохи-

Адрес для корреспонденции (Correspondence to):

Шепелюк Александр Николаевич
E-mail: dr.shepp@mail.ru

Факторы риска развития НО при кардиохирургических операциях

Дооперационные факторы	Факторы развития НО, связанные с ИК и операцией
возраст женский пол церебрально-васкулярная болезнь предшествующий инсульт — атероматоз аорты сахарный диабет нестабильная стенокардия гипертоническая болезнь внутриаортальная баллонная контрпульсация предшествующие операции с ИК хронические неспецифические заболевания легких алкоголизм аритмии в день операции [2, 3, 6, 7, 10–12]	вмешательства со вскрытием полостей сердца манипуляции на аорте (повторные пережатия, канюляции) нестабильность гемодинамики анестезиологическое пособие (влияние анестетиков и других фармакологических препаратов) газовая и материалная эмболии отек мозга (гипоперфузия) увеличение внутричерепного давления (ВЧД) (мальпозиция венозной канюли) нарушение функции гематоэнцефалического барьера системное воспаление (активизация провоспалительных медиаторов, запуск циклооксигеназных реакций, влияние эндотоксина) продолжительность ИК более 90 минут гипотермия гипертермия гипергликемия нарушения ритма и их терапия (использование антиаритмиков, антикоагулянтов, ранней кардиоверсии) [2, 3, 7, 10, 12–20]

рургических методов, имеющих высокий риск осложнений, и может включать в себя следующие методики:

Электроэнцефалография (ЭЭГ) может быть использована в кардиохирургии в виде многоканальной ЭЭГ, биспектрального индекса энцефалограммы и слуховых вызванных потенциалов. ЭЭГ может быть информативной в диагностике церебральной ишемии, гипоксии, эпилептической активности, определении выраженности гипнотического состояния, глубины анестезии. Однако, несмотря на чувствительность этих методов, их информативность не является специфической, а интерпретацию могут затруднять сильные колебания температуры и электрически шумные условия в операционной [23–25].

Транскраниальный доплер (ТКД). Метод транскраниальной доплерографии (ТКД) используется в кардиохирургии для определения скоростных показателей, характеристик кровотока и регистрации эмболов в бассейне средней мозговой артерии. Своевременное обнаружение эмболов может повлиять на тактику лечения, однако метод ТКД имеет ограничения, а информативность его зависит от опыта, практики и знаний исследователя, стабильности фиксации датчиков, электроимпульсных помех в операционной [24].

Оксиметрия в луковиче яремной вены (определение сатурации гемоглобина — $SjvO_2$) основана на поглощении инфракрасного света с длиной волны 650–1100 нм некоторыми специфическими светопоглощающими хромофорами (оксигемоглобином, дезоксигемоглобином, цитохром-С-оксидазой). Методика имеет ограничения — инвазивность и сложность интерпретации данных (оценка венозного оттока от неизвестной области мозга и унолатеральности) [12, 26].

Метод церебральной оксиметрии (ЦО) является перспективным направлением нейромониторинга в кардиохирургии за счет возможности постоянного билатерального измерения, неинвазивности, независимости от типа кровотока. Региональная внутрисосудистая сатурация оксигемоглобина измеряется посредством транскраниальной околоинфракрасной спектроскопии (ТКОИС) с длиной волны в диапазоне 700–1300 нм. Идея использования принципа ТКОИС была предложена Jobsis F. F. в 1977 [27]. Первое клиническое использование транскраниальной околоинфракрасной спектроскопии принадлежит McComb et al. в 1991 г. в нейрохирургии [28].

Все клинические устройства на основе ТКОИС обнаруживают изменения в концентрации окисленного и восстановленного гемоглобина (Hb). Устройства используют последовательные импульсные светоизлучающие диоды или прямой лазерный индикатор. К ним относятся INVOS 4100 (взрослый), INVOS 5100 (взрослый и педиатрический) (Somanetics

Corporation, Troy, MI, USA), Foresight (CAS Medical Systems, Branford, CT, USA) и NIRO-500 (Hamamatsu Photonics K, Hamamatsu, Japan) [22, 29–34].

INVOS осуществляет измерения посредством безопасного для здоровья околоинфракрасного излучения низкой интенсивности. В методе используется принцип оптической спектроскопии. Кости черепа являются относительно прозрачными для околоинфракрасного спектра света. Световая передача зависит от комбинации коэффициентов отражения, рассеивания и поглощения в биологических средах. Спектры поглощения оксигемоглобина колеблются в диапазоне 800–850 нм, дезоксигемоглобина 650–800 нм, цитохрома Caa3 820–840 нм [27–29, 32, 34]. Для детекции сигнала от мозгового вещества, не смешанного с сигналами от экстрацеребральных тканей, фотодиоды, служащие детекторами, располагаются на расстоянии 30 и 40 мм от источника света. Дальний из диодов воспринимает излучение, прошедшее через кожу, мышечные ткани, кости черепа и мозг, ближний — только излучение, прошедшее через ткани скальпа и черепа. Таким образом, исключается влияние экстрацеребральных тканей на результат измерения и обеспечивается непосредственное церебральное измерение кислородного насыщения.

Методика расчета основывается на вычислении относительной величины восстановленного Hb по отношению к его общему количеству. Показатели выражаются в насыщении Hb кислородом в процентах и выражаются в виде индекса (rSO_2). Данный метод позволяет оценивать, главным образом, кислородный статус Hb, находящегося в сосудах исследуемой области ГМ. Измерения происходят в 16% в артериях и в 84% в венах, это соотношение остается почти постоянным при нормооксии, гипоксии, гипокании [34, 35].

Вследствие того, что основной объем крови в мозге составляет венозная кровь, ЦО осуществляет преимущественно измерения кислородного насыщения венозной крови во фронтальной области. Ишемия из-за снижения объемного кровотока в тканях или гипоксия, связанная со снижением содержания кислорода в притекающей артериальной крови формируют тканевый дефицит кислорода. Компенсаторным механизмом, направленным на ликвидацию тканевого дефицита кислорода, является увеличение его экстракции из притекающей крови, результатом которой является снижение содержания кислорода в оттекающей венозной крови, особенно фракции, связанной с Hb. Таким образом, показатели rSO_2 отражают изменения факторов, влияющих на критический баланс между доставкой и потреблением кислорода головным мозгом [22, 29–34].

Нормативные значения. М. Misra et al. [36] не выявили связи нормативных значений с полом, возрастом, весом, ростом, цветом кожи, использованием табака, кофе у 94-х пациентов. К. Kishi et al. [37] исследовали влияние демографических данных на rSO_2 . Измерения не зависели от веса, роста, пола, но отрицательно коррелировали с возрастом. Эта зависимость от возраста может быть связана с прогрессирующей сосудистой патологией у пожилых пациентов. В исследовании С. S. Burkhardt et al. [10] поставлено под сомнение выраженное изменение ауторегуляции ГМ, связанное с возрастом, по их данным показатели rSO_2 не зависят от возраста.

При исследовании локальных физиологических норм были обследованы 1000 взрослых пациентов от 21 до 91 года, 32% женщин, был определен уровень нормальных показателей — 67 ± 10 [31]. Эти значения меньше, чем были указаны для взрослых добровольцев 20–36 лет — 71 ± 6 [38]. Разница между полушариями пациентов достигала 10%, не было выявлено ее только у 5% больных. Только у 5% пациентов исходные значения были менее 50% и более 80%. Таким образом, абнормальными считаются значения менее 50% и более 80% и разницей между полушариями не более 10%.

ЦО показывает индивидуальные изменения относительно исходных значений и объективные измерения локальной гипоперфузии. В отличие от пульсоксиметрии и югулярной оксиметрии ЦО может использоваться во время непугающего ИК и циркуляторного ареста [7, 12, 22].

Клиническая важность снижения rSO_2 была определена при исследовании группы здоровых добровольцев во время тестирования с высокоскоростной центрифугой и ортостатических тестов. Подобные исследования выполнили и при пробных окклюзиях каротидных артерий и баллонных окклюзиях интракраниальных артерий. В каждом исследовании снижение rSO_2 более 20% от исходных значений ассоциировалось с потерей сознания или признаками фокальной церебральной ишемии [22, 39].

К. W. Roberts et al. у пациентов в сознании под регионарным обезболиванием во время каротидной эндартерэктомии при пережатии каротидной артерии отметил снижение rSO_2 до 27–31% от исходных значений, сопровождавшееся появлением неврологического дефицита. Уменьшение rSO_2 менее 23% от исходных значений не вызывало неврологических осложнений [40].

Использование метода ЦО при операциях аорто-коронарного шунтирования (АКШ) продемонстрировало корреляцию у пациентов, имеющих низкие значения rSO_2 во время ИК, с развитием познавательной дисфункции в раннем послеоперационном периоде, удлинением времени госпитализации, развитием инсульта [7–9, 12, 22, 33].

Начальная асимметрия может быть вызвана: стенозом внутренней сонной артерии, стенозом подключичной артерии (стил-синдром) или внутричерепным артериальным стенозом, повреждением внутричерепного пространства, старым инфарктом мозга, гемангиомой, гематомой, чрезмерным количеством жидкости в лобной пазухе, дефектом черепа, неправильным наложением датчиков на область лба. Оценка симметрии до операции и исключение причин асимметрии очень важны, потому что новая асимметрия может развиваться быстро во время индукции анестезии, постановки катетера легочной артерии, изменения позиции головы [3, 32].

Эпизоды асимметричной выраженной десатурации появляются иногда при поворотах головы и нарушениях венозного возврата — особенно у педиатрических пациентов, при перегибах венозных канюль с повышением ВЧД и снижением церебрального перфузионного давления [10, 16]. Контроль центрального венозного давления (ЦВД) не является оптимальным методом для диагностики данных нарушений, так как при сохраненном оттоке из правого предсердия, ЦВД не изменяется. В отличие от ЦВД, в данной клинической ситуации, rSO_2 снижается достаточно быстро, вызывая необходимость поиска причины. Эпизоды асимметричной выраженной

десатурации могут выявляться иногда и при манипуляциях на сердце при операциях без ИК [3, 15, 22, 32].

Дезориентация и ухудшение познавательной функции после операций была связана с возрастом (5% до 70 лет и 20% после 70 лет) и снижением rSO_2 во время ИК, при этом не было изменений в параметрах ТКД или ЭЭГ. Уменьшение в rSO_2 более чем на 25% или расхождение между сторонами требовали коррекции [9, 22, 24, 33, 41].

В литературе много данных о возможности использования ЦО как единственного источника нейромониторинга или в контексте мультимодального нейромониторинга при кардиохирургических операциях. При использовании ЦО выявили, что неврологических изменений, эпизодов ишемии ГМ во время операций с ИК и без ИК выявляется намного больше, чем это представлялось ранее. Использование ЦО при операциях с ИК помогло предотвратить эпизоды ишемии и развитие церебрально-васкулярных интраоперационных осложнений [22, 29, 32, 33].

ЦО зависит от многих клинических факторов, а значения ЦО, в свою очередь, могут служить показанием для коррекции некоторых параметров. Например, изменения ЦО могут свидетельствовать о необходимости коррекции уровня CO_2 в крови. В церебральных артериях с нормальной реактивностью гиперкапния приводит к увеличению rSO_2 за счет локальной вазодилатации и увеличения кровотока. Многие авторы выявили, что ЦО может использоваться как скрининговый метод оценки цереброваскулярной резервной способности. Отсутствие ответа на гипероксию предполагает нарушение CO_2 -реактивности и церебральной ауторегуляции. Наличие асимметричной реакции предполагает потенциальную патологию (интракраниальный стеноз или немой инфаркт мозга) и может вызвать изменения в перфузии ГМ в обеих гемисферах при использовании анестетиков и в период ИК. Во время нормотермического ИК при АКШ у взрослых использование вазопрессоров на фоне низких значений CO_2 для поддержания перфузионного давления и коррекции сниженных показателей rSO_2 не приводит к желаемому результату, т.к. усугубляется спазм сосудов ГМ, вызванных гипоканией. В этом случае только нормокапния будет эффективна в коррекции показателей rSO_2 . В ряде исследований показано, что уменьшение $PaCO_2$ на 1 мм рт. ст. уменьшает rSO_2 на 1,12%, а увеличение $PaCO_2$ на 1 мм рт. ст. увеличивает rSO_2 только на 0,46%. Выраженная длительная гипокания во время ИК может быть причиной повреждения ГМ [3, 12, 16, 42].

ЦО как триггер трансфузии. Двумя важными детерминантами оксигенации ткани являются гемоглобин и объем плазмы. С. Madl et al. [43] исследовали соотношение Hb и rSO_2 у пациентов с септическим шоком. При значениях Hb менее 8,5 мг/дл, rSO_2 был снижен более 60% от нормальных значений, гемотрансфузия увеличивала оба показателя. К. Karkouti et al. [44] описывали глубокую десатурацию при выраженной гемодилуции (гематокрит 16%) при нормальном перфузионном давлении, нормокапнии, высоких показателях парциального давления кислорода в артериальной и смешанной венозной крови.

Таким образом, можно ожидать временную десатурацию в мозге на начальном этапе ИК, так как первичный объем заполнения снижает концентрацию Hb, величина временной десатурации имеет прямое отношение к объему кристаллоидного заполнения. Многие авторы описывают негативное влияние исходно низкого уровня Hb у кардиохирургических пациентов, выраженной гемодилуции во время ИК на развитие неврологических осложнений. Сниженный гематокрит (Ht) во время ИК является независимым прогнозирующим маркером неврологических осложнений. Ht во время ИК нужно поддерживать в диапазоне 25–29%. В случае пограничных анемий, нормальные показатели ЦО гарантируют достаточный rSO_2 , таким образом, использование ЦО минимизирует риск трансфузии дополнительной эритроцитарной массы [3, 12, 22, 37, 41, 44].

ЦО была использована для оценки эффекта увеличения объема трансфузии на церебральную перфузию. Во время орто-

статических тестов в связи с депонированием крови в нижних конечностях показатели rSO_2 резко снижались. Введение кристаллоидных растворов снижало вероятность возникновения эмболозов, увеличивало перфузию мозга. Эта же концепция может использоваться в кардиохирургии, когда применение вазопрессоров не дает эффект улучшения церебральной перфузии и коррекции rSO_2 . Сниженные показатели rSO_2 при гиповолемии быстро отвечают на введение дополнительного объема.

Многочисленные исследования подтвердили сохранение механизмов ауторегуляции ГМ во время кардиохирургических операций, включая этап ИК для большинства пациентов, за исключением пациентов с выраженной и длительной гипертонической болезнью и сахарным диабетом. ЦО может определять нижний предел ауторегуляции, точку, в которой перфузия головного мозга становится зависимой от артериального давления ($АД_{ср}$). Независимость $АД_{ср}$ и rSO_2 определяет нормальную здоровую ауторегуляцию, rSO_2 не зависит от $АД_{ср}$ в широком диапазоне значений. Дисауторегуляция проявляется появлением корреляции rSO_2 и $АД_{ср}$. По данным авторов выявляется 2 типа зависимости rSO_2 от показателей $АД_{ср}$. В первом случае — нормальная ауторегуляция со стабильными показателями rSO_2 при $АД_{ср}$ 40–100 мм рт. ст., во втором случае — нарушение ауторегуляции и уменьшение rSO_2 после снижения $АД_{ср}$ ниже 80 мм рт. ст. Таким образом, контроль rSO_2 позволяет выявлять адекватность мозговой перфузии во время операций с ИК [10, 12, 22, 45].

ЦО может способствовать нейропротекции при гипотермии. В теории, снижение температуры во время ИК при использовании α -stat протокола ведет к линейному снижению церебрального кровотока и экспоненциальному снижению метаболической активности мозга. Было показано, что данные rSO_2 при глубоком охлаждении варьировали обратно пропорционально уровню охлаждения по уравнению $rSO_2 = -20,5 * (\text{температура охлаждения, } ^\circ\text{C}/\text{мин}) + 97,4$. Дополнительно установили, что уровень десатурации во время полной остановки кровообращения был функцией назофарингеальной температуры в начале циркуляторного ареста. Уровень десатурации = $0,19 * (\text{назофарингеальная температура, } ^\circ\text{C}) - 2,5$. Так при 20°C уровень десатурации был 0,25% в минуту, это снижение не было линейным. При температуре $21\text{--}26^\circ\text{C}$ приток составил 2% в минуту [14, 46–48].

rSO_2 является маркером адекватности дополнительной церебральной перфузии при операциях на дуге аорты. При помощи ЦО выявили быструю десатурацию при циркуляторном аресте, медленную десатурацию при ретроградной перфузии ГМ и отсутствие десатурации при адекватной антеградной церебральной перфузии [3, 46–48].

rSO_2 в некоторых клинических ситуациях может быть связан с уровнем глубины анестезии. Неадекватная анестезия или седация может вести к увеличению потребления кислорода мозгом и, соответственно, снижению rSO_2 . Гипнотические препараты могут подавлять церебральный метаболизм в большей степени, чем церебральный кровоток, в результате чего повышается rSO_2 [22, 25, 49, 50].

В различных исследованиях изучали сопоставимость методов церебрального мониторинга [22, 24]. При операциях с ИК показатели rSO_2 и $SjvO_2$ коррелировали только в доперфузионном периоде, а в период ИК, в экстремальных условиях и при ишемии корреляцию не отмечали [12, 26]. rSO_2 сравнили с парциальным давлением кислорода (trO_2) в ткани мозга датчиком микродиализа и определили достоверную корреляцию у нейрохирургических пациентов [33]. Показатели ЦО коррелировали с данными позитронно-эмиссионной томографии и магнитно-резонансной томографии [51, 52]. При использовании мультимодального мониторинга (ЭЭГ, ТКД, ЦО) анализировали синхронность изменения параметров. Динамика rSO_2 часто опережала изменения в ЭЭГ, ТКД, в некоторых ситуациях при изменениях rSO_2 отсутствовали изменения ЭЭГ и ТКД. Также описаны ситуации, когда показания пульсоксиметрии могут оставаться нормальными при снижении rSO_2 . При остановке сер-

дечной деятельности происходит резкое снижение rSO_2 до 20%. rSO_2 коррелирует с данными сердечного индекса [3, 22].

Несмотря на очевидные преимущества метода ЦО в литературе существуют и критические мнения, связанные, в первую очередь, с технологическими ограничениями метода. Например, проведение исследования ограничивается только фронтальной областью ГМ, что препятствует мониторингу задней зоны водораздела — соединении передней, средней и задней мозговых артерий. Слабость сигнала может быть связана с гематомой или областью над венозными синусами, так как большие объемы крови являются ловушками для фотонов и изменяют адекватность измерения. Дефицит или травматические повреждения костей черепа могут так же изменять прохождение сигнала датчика [22, 33].

Современные модели церебральных оксиметров были усовершенствованы технологически с учетом недостатков метода. В последних моделях INVOS 4100 и INVOS 5100 (Somanetics Corporation, Troy, MI, USA) выходной сигнал инфракрасного луча усилен в 10 раз, центральное отклонение луча приближено к лазерному источнику, соотношение сигнал/шум увеличено в 10 раз и укорочен средний интервал от 20 до 4 секунд. Приборы одобрены и рекомендованы американским Управлением по контролю за продуктами и лекарствами (FDA) для контроля церебральной кислородной насыщенности при различных оперативных вмешательствах [30, 31].

Системные эффекты ЦО. A. Denault et al. [29] сообщили об эффективности мер, предпринятых для сохранения значений ЦО выше 75% от базовой линии — коррекция и поддержание $АД_{ср}$, показателей $PaCO_2$, увеличение объема перфузии, фракции кислорода во вдыхаемой смеси, коррекция температуры, переливание эритроцитов. Помимо снижения НО, принятые лечебные мероприятия привели к существенному снижению летальности, инсультов, инфарктов миокарда, острой почечной недостаточности (ОПН), сокращению длительности искусственной вентиляции легких (ИВЛ) в послеоперационном периоде [3, 21, 22, 30, 31].

Эпизоды десатурации во время операций АКШ коррелировали с множеством неблагоприятных системных результатов, которые включали ОПН, полиорганную дисфункцию, продленную ИВЛ, тошноту и рвоту, головокружение, когнитивные дисфункции и сердечную недостаточность. С. М. Dunham et al. [54] показали, что значения rSO_2 коррелируют с данными церебрального перфузионного давления, шкалой ком Глазго, летальностью у пациентов с поражением ГМ во время операций с ИК. J. M. Murkin et al. [33] описали корреляции показателей церебрального rSO_2 и адекватной функцией систем органов.

S. Goldman et al. [21] сообщили о крупном исследовании (2 279 пациентов после операций с ИК), в котором выявили, что при сохранении значения rSO_2 в пределах нормы в процессе операции, отмечается уменьшение ишемических атак, инсультов, времени ИВЛ, сроков пребывания в больнице.

Многочисленные исследователи продемонстрировали, что применение ЦО приводит к снижению длительности госпитализации на 1,7–2,7 дней, уменьшению на 11% затрат на лечение, общему регрессу неврологических осложнений до 85%, сокращению периоперативного инсульта с 2,01% до 0,97%, по другим данным — в 4–5 раз, в том числе, и у пациентов с диабетом [11, 21, 33, 55].

Была создана 30-дневная модель риска послеоперационных летальности и осложнений (ROMM) [56], в которую вошли — инсульт, ОПН, требующая использования диализа, продленная ИВЛ более 48 часов, медиастинит, рестернотомия. При использовании ЦО только в 2% случаев у пациентов возникали осложнения, входящие в модель риска ROMM, в отличие от 10% случаев без использования ЦО [11, 33, 55].

Это подтверждает фундаментальную гипотезу об использовании мониторинга оксигенации мозга, как индикатора оксигенации для всего организма. Вмешательства, предпринимаемые для коррекции эпизодов десатурации, минимизации продолжительности и степени церебральной десатурации, ока-

зывают положительное влияние на системную оксигенацию органов и клинические результаты.

Коррекция rSO₂ улучшает показатели выживаемости, снижает количество осложненных послеоперационного периода. Отсутствие мониторинга церебральной оксиметрии лишает

Литература

- Carrascal Y., Guerrero A. L. Neurological damage related to cardiac surgery: pathophysiology, diagnostic tools and prevention strategies. Using actual knowledge for planning the future. *Neurologist* 2010; 16 (3): 152–164.
- Шевченко Ю. Л., Гороховатский Ю. И., Азизова О. А., Замятин М. Н. Системный воспалительный ответ при экстремальной хирургической агрессии. М.: РАЕН; 2009. 273.
- Kellermann K., Jungwirth B. Avoiding stroke during cardiac surgery. *Semin. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 2010; 14 (2): 95–101.
- Hiratzka L. F., Bakris G. L., Beckman J. A. et al. Guidelines for the diagnosis and management of patients with thoracic aortic disease: Executive summary: A report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines, American Association for Thoracic Surgery, American College of Radiology, American Stroke Association, Society of Cardiovascular Anesthesiologists, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society of Interventional Radiology, Society of Thoracic Surgeons, and Society for Vascular Medicine. *Anesth. Analg.* 2010; 111 (2): 279–315.
- Иванов С. В. Психические расстройства, связанные с хирургическими вмешательствами на открытом сердце. *Психиатрия и психофармакотерапия* 2005; 7 (3): 4–8.
- Grocott H. P., Tran T. Aortic atheroma and adverse cerebral outcome: risk, diagnosis, and management options. *Semin. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 2010; 14 (2): 86–94.
- Мороз В. В., Корниченко А. Н., Мозалев А. С. и соавт. Проблема повреждения головного мозга при кардиохирургических вмешательствах в условиях искусственного кровообращения. *Общая реаниматология* 2008; IV (4): 16–20.
- Fudickar A., Peters S., Stapelfeldt C. et al. Postoperative cognitive deficit after cardiopulmonary bypass with preserved cerebral oxygenation: a prospective observational pilot study. *BMC Anesthesiol.* 2011; 11: 7.
- de Tournay-Jetté E., Dupuis G., Bherer L. et al. The relationship between cerebral oxygen saturation changes and postoperative cognitive dysfunction in elderly patients after coronary artery bypass graft surgery. *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 2011; 25 (1): 95–104.
- Burkhardt C. S., Rossi A., Dell-Kuster S. et al. Effect of age on intraoperative cerebrovascular autoregulation and near-infrared spectroscopy-derived cerebral oxygenation. *Br. J. Anaesth.* 2011; 107 (5): 742–748.
- Murkin J. M., Adams S. J., Pardy E. et al. Monitoring brain oxygen saturation during coronary bypass surgery improves outcomes in diabetic patients: a post hoc analysis. *Heart Surg. Forum* 2011; 14 (1): E1–E6.
- Караваяев Б. И., Кожееников В. А., Селютин М. Ю. и соавт. Опыт использования церебральной оксиметрии при операциях на сердце с искусственным кровообращением. *Анестезиология и реаниматология* 2002; 5: 21–24.
- Caddell K. A., Komnapalli C. B., Slater M. S. et al. Patient-specific insulin-resistance-guided infusion improves glycemic control in cardiac surgery. *Ann. Thorac. Surg.* 2010; 90 (6): 1818–1823.
- Campos J. M., Paniagua P. Hypothermia during cardiac surgery. *Best. Pract. Res. Clin. Anaesthesiol.* 2008; 22 (4): 695–709.
- Ginther R., Sebastian V. A., Huang R. et al. Cerebral near-infrared spectroscopy during cardiopulmonary bypass predicts superior vena cava oxygen saturation. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2011; 142 (2): 359–365.
- Hamada H., Nakagawa I., Uesugi F. et al. Effects of perfusion pressure on cerebral blood flow and oxygenation during normothermic cardiopulmonary bypass. *Masui* 2004; 53 (7): 744–752.
- Knapiak P., Nadziakiewicz P., Urbanska E. et al. Cardiopulmonary bypass increases postoperative glycemia and insulin consumption after coronary surgery. *Ann. Thorac. Surg.* 2009; 87 (6): 1859–1865.
- Мороз В. В., Салмина А. Б., Фурсов А. А. и соавт. Новые аспекты развития системной воспалительной реакции после аортокоронарного шунтирования. *Общая реаниматология* 2008; IV (6): 5–8.
- Неймарк М. И., Давыдов В. В. Состояние высших психических функций у больных, перенесших анестезию с применением дипривана и кетамина. *Общая реаниматология* 2005; 1 (2): 48–52.
- Светлова Н. Ю. Патофизиология повреждения мозга при операциях с искусственным кровообращением. *Анестезиология и реаниматология* 2006; 3: 24–27.
- Goldman S., Sutter F., Ferdinand F., Trace C. Optimizing intraoperative cerebral oxygen delivery using noninvasive cerebral oximetry decreases the incidence of stroke for cardiac surgical patients. *Heart Surg. Forum* 2004; 7 (5): E376–E381.
- клинициста важной информации, возможностей оптимизировать состояние пациента, предотвратить потенциально опасные осложнения [11, 22, 29, 31, 33, 55]. Это позволяет сделать вывод о необходимости применения методики церебральной оксиметрии в рамках нейромониторинга в кардиохирургии.
- Murkin J. M., Adams S. J., Novick R. J. et al. Monitoring brain oxygen saturation during coronary bypass surgery: a randomized, prospective study. *Anesth. Analg.* 2007; 104 (1): 51–58.
- Friedell M. L., Clark J. M., Graham D. A. et al. Cerebral oximetry does not correlate with electroencephalography and somatosensory evoked potentials in determining the need for shunting during carotid endarterectomy. *J. Vasc. Surg.* 2008; 48 (3): 601–606.
- Moritz S., Kasprzak P., Arlt M. et al. Accuracy of cerebral monitoring in detecting cerebral ischemia during carotid endarterectomy: a comparison of transcranial Doppler sonography, near-infrared spectroscopy, stump pressure, and somatosensory evoked potentials. *Anesthesiology* 2007; 107 (4): 563–569.
- Myles P. S. Bispectral index monitoring in ischemic-hypoxic brain injury. *J. Extra Corpor. Technol.* 2009; 41 (1): P15–P19.
- Abdul-Khalik H., Troitzsch D., Berger F., Lange P. E. Comparison of regional transcranial oximetry with NIRS and jugular venous bulb oxygen saturation. *Biomed. Tech. (Berl.)* 2000; 45 (11): 328–332.
- Jöbsis F. F. Noninvasive, infrared monitoring of cerebral and myocardial sufficiency and circulatory parameters. *Science* 1977; 198 (4323): 1264–1267.
- McCormick P. W., Stewart M., Goetting M. G. et al. Noninvasive cerebral optical spectroscopy for monitoring cerebral oxygen delivery and hemodynamics. *Crit. Care Med.* 1991; 19 (1): 89–97.
- Denault A., Deschamps A., Murkin J. M. A proposed algorithm for the intraoperative use of cerebral NIRS. *Semin. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 2007; 11 (4): 274–281.
- Edmonds H. L. Jr. Protective effect of neuromonitoring during cardiac surgery. *Ann. NY Acad. Sci.* 2005; 1053: 12–19.
- Edmonds H. L. Jr. Pro: all cardiac surgical patients should have intraoperative cerebral oxygenation monitoring. *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 2006; 20 (3): 445–449.
- Faulkner J. T., Hartley M., Tang A. Using cerebral oximetry to prevent adverse outcomes during cardiac surgery. *Perfusion* 2011; 26 (2): 79–81.
- Murkin J. M., Arango M. Near-infrared spectroscopy as an index of brain and tissue oxygenation. *Br. J. Anaesth.* 2009; 103 (Suppl. 1): i3–i13.
- Yoshitani K., Kawaguchi M., Miura N. et al. Effects of hemoglobin concentration, skull thickness, and the area of the cerebrospinal fluid layer on near-infrared spectroscopy measurements. *Anesthesiology* 2007; 106 (3): 458–462.
- Watzman H. M., Kurth C. D., Montenegro L. M. et al. Arterial and venous contributions to near-infrared cerebral oximetry. *Anesthesiology* 2000; 93 (4): 947–953.
- Misra M., Stark J., Dujovny M. et al. Transcranial cerebral oximetry in random normal subjects. *Neurol. Res.* 1998; 20 (2): 137–141.
- Kishi K., Kawaguchi M., Yoshitani K. et al. Influence of patient variables and sensor location on regional cerebral oxygen saturation measured by INVOS 4100 near-infrared spectrophotometers. *J. Neurosurg. Anesthesiol.* 2003; 15 (4): 302–306.
- Kim M. B., Ward D. S., Cartwright C. R. et al. Estimation of jugular venous O₂ saturation from cerebral oximetry or arterial O₂ saturation during isocapnic hypoxia. *J. Clin. Monit. Comput.* 2000; 16 (3): 191–199.
- Singer I., Edmonds H. Jr. Changes in cerebral perfusion during third-generation implantable cardioverter defibrillator testing. *Am. Heart J.* 1994; 127 (4 Pt 2): 1052–1057.
- Roberts K. W., Crnkovic A., Linneman L. J. Near-infrared spectroscopy detect critical cerebral hypoxia during carotid endarterectomy in awake patients. *Anesthesiology* 1998; 89 (3A): A934.
- Шелепюк А. Н., Клыпа Т. В., Никуфоров Ю. В. Церебральная оксиметрия для прогнозирования неврологической дисфункции у кардиохирургических пациентов. *Общая реаниматология* 2011; VII (1): 48–54.
- Park C. S., Kwak J. G., Lee C. et al. Near-infrared spectroscopy as a possible device for continuous monitoring of arterial carbon dioxide tension during cardiac surgery. *Perfusion* 2011; 26 (6): 524–528.
- Madl C., Eisenhuber E., Kramer L. et al. Impact of different hemoglobin levels on regional cerebral oxygen saturation, cerebral extraction of oxygen and sensory evoked potential in septic shock. *Crit. Care Med.* 1997; 25 (Suppl): S4.
- Karkouti K., Djaiani G., Borger M. A. et al. Low hematocrit during cardiopulmonary bypass is associated with increased risk of perioperative stroke in cardiac surgery. *Ann. Thorac. Surg.* 2005; 80 (4): 1381–1387.
- Punn T. M., Punn E. G., Мордовин В. Ф. Оценка цереброваскулярного резерва. *Общая реаниматология* 2010; VI (6): 39–44.

46. Fischer G. W., Lin H. M., Krol M. et al. Noninvasive cerebral oxygenation may predict outcome in patients undergoing aortic arch surgery. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2011; 141 (3): 815–821.
47. Harrer M., Waldenberger F. R., Weiss G. et al. Aortic arch surgery using bilateral antegrade selective cerebral perfusion in combination with near-infrared spectroscopy. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2010; 38 (5): 561–567.
48. Tobias J. D., Russo P., Russo J. Changes in near infrared spectroscopy during deep hypothermic circulatory arrest. *Ann. Card. Anaesth.* 2009; 12 (1): 17–21.
49. Gélinas C., Choimière M., Ranger M. et al. Toward a new approach for the detection of pain in adult patients undergoing cardiac surgery: near-infrared spectroscopy—a pilot study. *Heart Lung* 2010; 39 (6): 485–493.
50. Moerman A., Wouters P. Near-infrared spectroscopy (NIRS) monitoring in contemporary anesthesia and critical care. *Acta Anaesthesiol. Belg.* 2010; 61 (4): 185–194.
51. Minati L., Visani E., Dowell N. G. et al. Variability comparison of simultaneous brain near-infrared spectroscopy and functional magnetic resonance imaging during visual stimulation. *J. Med. Eng. Technol.* 2011; 35 (6–7): 370–376.
52. Ohmae E., Ouchi Y., Oda M. et al. Cerebral hemodynamics evaluation by near-infrared time-resolved spectroscopy: correlation with simultaneous positron emission tomography measurements. *Neuroimage* 2006; 29 (3): 697–705.
53. Edmonds H. L. Jr. Emboli and renal dysfunction in CABG patients. *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 2004; 18 (5): 545–547.
54. Dunham C. M., Ransom K. J., Flowers L. L. et al. Cerebral hypoxia in severely brain-injured patients is associated with admission Glasgow Coma Scale score, computed tomographic severity, cerebral perfusion pressure, and survival. *J. Trauma* 2004; 56 (3): 482–489.
55. Booth E. A., Dukatz C., Ausman J., Wider M. Cerebral and somatic venous oximetry in adults and infants. *Surg. Neurol. Int.* 2010; 1: 75.
56. Shroyer A. L., Coombs L. P., Peterson E. D. et al. The Society of Thoracic Surgeons: 30-day operative mortality and morbidity risk models. *Ann. Thorac. Surg.* 2003; 75 (6): 1856–1864.
13. Caddell K. A., Komanapalli C. B., Slater M. S. et al. Patient-specific insulin-resistance-guided infusion improves glycemic control in cardiac surgery. *Ann. Thorac. Surg.* 2010; 90 (6): 1818–1823.
14. Campos J. M., Paniagua P. Hypothermia during cardiac surgery. *Best. Pract. Res. Clin. Anaesthesiol.* 2008; 22 (4): 695–709.
15. Ginther R., Sebastian V. A., Huang R. et al. Cerebral near-infrared spectroscopy during cardiopulmonary bypass predicts superior vena cava oxygen saturation. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2011; 142 (2): 359–365.
16. Hamada H., Nakagawa I., Uesugi F. et al. Effects of perfusion pressure on cerebral blood flow and oxygenation during normothermic cardiopulmonary bypass. *Masui* 2004; 53 (7): 744–752.
17. Knapik P., Nadiakiewicz P., Urbanska E. et al. Cardiopulmonary bypass increases postoperative glycemia and insulin consumption after coronary surgery. *Ann. Thorac. Surg.* 2009; 87 (6): 1859–1865.
18. Moroz V. V., Salmina A. B., Fursov A. A. et al. Development of systemic inflammatory reaction after aortocoronary bypass surgery: New aspects. *Obshchaya Reanimatologiya «(In Rus.)»* 2008; IV (6): 5–8.
19. Neimark M. I., Davydov V. V. Higher mental functions in patients after anesthesia using diprivan and ketamine. *Obshchaya Reanimatologiya «(In Rus.)»* 2005; I (2): 48–52.
20. Svetlova N. Yu. Pathophysiology of brain damage at surgery under extracorporeal circulation. *Anesteziologiya i Reanimatologiya «(In Rus.)»* 2006; 3: 24–27.
21. Goldman S., Sutter F., Ferdinand F., Trace C. Optimizing intraoperative cerebral oxygen delivery using noninvasive cerebral oximetry decreases the incidence of stroke for cardiac surgical patients. *Heart Surg. Forum* 2004; 7 (5): E376–E381.
22. Murkin J. M., Adams S. J., Novick R. J. et al. Monitoring brain oxygen saturation during coronary bypass surgery: a randomized, prospective study. *Anesth. Analg.* 2007; 104 (1): 51–58.
23. Friedell M. L., Clark J. M., Graham D. A. et al. Cerebral oximetry does not correlate with electroencephalography and somatosensory evoked potentials in determining the need for shunting during carotid endarterectomy. *J. Vasc. Surg.* 2008; 48 (3): 601–606.
24. Moritz S., Kasprzak P., Arlt M. et al. Accuracy of cerebral monitoring in detecting cerebral ischemia during carotid endarterectomy: a comparison of transcranial Doppler sonography, near-infrared spectroscopy, stump pressure, and somatosensory evoked potentials. *Anesthesiology* 2007; 107 (4): 563–569.
25. Myles P. S. Bispectral index monitoring in ischemic-hypoxic brain injury. *J. Extra Corpor. Technol.* 2009; 41 (1): P15–P19.
26. Abdul-Khalik H., Troitzsch D., Berger F., Lange P. E. Comparison of regional transcranial oximetry with NIRS and jugular venous bulb oxygen saturation. *Biomed. Tech. (Berl.)* 2000; 45 (11): 328–332.
27. Jobsis F. F. Noninvasive, infrared monitoring of cerebral and myocardial sufficiency and circulatory parameters. *Science* 1977; 198 (4323): 1264–1267.
28. McCormick P. W., Stewart M., Goetting M. G. et al. Noninvasive cerebral optical spectroscopy for monitoring cerebral oxygen delivery and hemodynamics. *Crit. Care Med.* 1991; 19 (1): 89–97.
29. Denault A., Deschamps A., Murkin J. M. A proposed algorithm for the intraoperative use of cerebral NIRS. *Semin. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 2007; 11 (4): 274–281.
30. Edmonds H. L. Jr. Protective effect of neuromonitoring during cardiac surgery. *Ann. NY Acad. Sci.* 2005; 1053: 12–19.
31. Edmonds H. L. Jr. Pro: all cardiac surgical patients should have intraoperative cerebral oxygenation monitoring. *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 2006; 20 (3): 445–449.
32. Faulkner J. T., Hartley M., Tang A. Using cerebral oximetry to prevent adverse outcomes during cardiac surgery. *Perfusion* 2011; 26 (2): 79–81.
33. Murkin J. M., Arango M. Near-infrared spectroscopy as an index of brain and tissue oxygenation. *Br. J. Anaesth.* 2009; 103 (Suppl. 1): i3–i13.
34. Yoshitani K., Kawaguchi M., Miura N. et al. Effects of hemoglobin concentration, skull thickness, and the area of the cerebrospinal fluid layer on near-infrared spectroscopy measurements. *Anesthesiology* 2007; 106 (3): 458–462.
35. Watzman H. M., Kurth C. D., Montenegro L. M. et al. Arterial and venous contributions to near-infrared cerebral oximetry. *Anesthesiology* 2000; 93 (4): 947–953.
36. Misra M., Stark J., Dujovny M. et al. Transcranial cerebral oximetry in random normal subjects. *Neurol. Res.* 1998; 20 (2): 137–141.
37. Kishi K., Kawaguchi M., Yoshitani K. et al. Influence of patient variables and sensor location on regional cerebral oxygen saturation measured by INVOS 4100 near-infrared spectrophotometers. *J. Neurosurg. Anesthesiol.* 2003; 15 (4): 302–306.
38. Kim M. B., Ward D. S., Cartwright C. R. et al. Estimation of jugular venous O₂ saturation from cerebral oximetry or arterial O₂ saturation during isocapnic hypoxia. *J. Clin. Monit. Comput.* 2000; 16 (3): 191–199.

References

1. Carrascal Y., Guerrero A. L. Neurological damage related to cardiac surgery: pathophysiology, diagnostic tools and prevention strategies. Using actual knowledge for planning the future. *Neurologist* 2010; 16 (3): 152–164.
2. Shevchenko Yu. L., Gorokhovatsky Yu. I., Azizova O. A., Zamyatin M. N. Systemic inflammatory response in extreme surgical aggression. Moscow: RANS; 2009. 273.
3. Kellermann K., Jungwirth B. Avoiding stroke during cardiac surgery. *Semin. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 2010; 14 (2): 95–101.
4. Hiratzka L. F., Bakris G. L., Beckman J. A. et al. Guidelines for the diagnosis and management of patients with thoracic aortic disease: Executive summary: A report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines, American Association for Thoracic Surgery, American College of Radiology, American Stroke Association, Society of Cardiovascular Anesthesiologists, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society of Interventional Radiology, Society of Thoracic Surgeons, and Society for Vascular Medicine. *Anesth. Analg.* 2010; 111 (2): 279–315.
5. Ivanov S. V. Mental disorders associated with open heart surgery. *Psikhiatriya i psikhofarmakoterapiya «(In Rus.)»* 2005; 7 (3): 4–8.
6. Grocott H. P., Tran T. Aortic atheroma and adverse cerebral outcome: risk, diagnosis, and management options. *Semin. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 2010; 14 (2): 86–94.
7. Moroz V. V., Kormiyenko A. N., Mozalev A. S. et al. Problem of brain injury during cardiothoracic interventions under extracorporeal circulation. *Obshchaya Reanimatologiya «(In Rus.)»* 2008; IV (4): 16–20.
8. Fudickar A., Peters S., Stapelfeldt C. et al. Postoperative cognitive deficit after cardiopulmonary bypass with preserved cerebral oxygenation: a prospective observational pilot study. *BMC Anesthesiol.* 2011; 11: 7.
9. de Tournay-Jetté E., Dupuis G., Bherer L. et al. The relationship between cerebral oxygen saturation changes and postoperative cognitive dysfunction in elderly patients after coronary artery bypass graft surgery. *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 2011; 25 (1): 95–104.
10. Burkhart C. S., Rossi A., Dell-Kuster S. et al. Effect of age on intraoperative cerebrovascular autoregulation and near-infrared spectroscopy-derived cerebral oxygenation. *Br. J. Anaesth.* 2011; 107 (5): 742–748.
11. Murkin J. M., Adams S. J., Pardy E. et al. Monitoring brain oxygen saturation during coronary bypass surgery improves outcomes in diabetic patients: a post hoc analysis. *Heart Surg. Forum* 2011; 14 (1): E1–E6.
12. Karavayev B. I., Kozhevnikov V. A., Selyutin M. Yu. et al. Experience in using cerebral oximetry during cardiac surgery under extracorporeal circulation. *Anesteziologiya i Reanimatologiya «(In Rus.)»* 2002; 5: 21–24.

39. *Singer I., Edmonds H. Jr.* Changes in cerebral perfusion during third-generation implantable cardioverter defibrillator testing. *Am. Heart J.* 1994; 127 (4 Pt 2): 1052–1057.
40. *Roberts K. W., Crnković A., Linneman L. J.* Near-infrared spectroscopy detect critical cerebral hypoxia during carotid endarterectomy in awake patients. *Anesthesiology* 1998; 89 (3A): A934.
41. *Shepelyuk A. N., Klypa T. V., Nikiforov Yu. V.* Cerebral oximetry for the prediction of neurological dysfunction in cardiosurgical patients. *Obshchaya Reanimatologiya «(In Rus.)»* 2011; VII (1): 48–54.
42. *Park C. S., Kwak J. G., Lee C. et al.* Near-infrared spectroscopy as a possible device for continuous monitoring of arterial carbon dioxide tension during cardiac surgery. *Perfusion* 2011; 26 (6): 524–528.
43. *Madl C., Eisenhuber E., Kramer L. et al.* Impact of different hemoglobin levels on regional cerebral oxygen saturation, cerebral extraction of oxygen and sensory evoked potential in septic shock. *Crit. Care Med.* 1997; 25 (Suppl): S4.
44. *Karkouti K., Djaiani G., Borger M. A. et al.* Low hematocrit during cardiopulmonary bypass is associated with increased risk of perioperative stroke in cardiac surgery. *Ann. Thorac. Surg.* 2005; 80 (4): 1381–1387.
45. *Ripp T. M., Ripp E. G., Mordovin V. F.* Cerebrovascular reserve estimation. *Obshchaya Reanimatologiya «(In Rus.)»* 2010; VI (6): 39–44.
46. *Fischer G. W., Lin H. M., Krol M. et al.* Noninvasive cerebral oxygenation may predict outcome in patients undergoing aortic arch surgery. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2011; 141 (3): 815–821.
47. *Harrer M., Waldenberger F. R., Weiss G. et al.* Aortic arch surgery using bilateral antegrade selective cerebral perfusion in combination with near-infrared spectroscopy. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2010; 38 (5): 561–567.
48. *Tobias J. D., Russo P., Russo J.* Changes in near infrared spectroscopy during deep hypothermic circulatory arrest. *Ann. Card. Anaesth.* 2009; 12 (1): 17–21.
49. *Gélinas C., Choinière M., Ranger M. et al.* Toward a new approach for the detection of pain in adult patients undergoing cardiac surgery: near-infrared spectroscopy—a pilot study. *Heart Lung* 2010; 39 (6): 485–493.
50. *Moerman A., Wouters P.* Near-infrared spectroscopy (NIRS) monitoring in contemporary anesthesia and critical care. *Acta Anaesthesiol. Belg.* 2010; 61 (4): 185–194.
51. *Minati L., Visani E., Dowell N. G. et al.* Variability comparison of simultaneous brain near-infrared spectroscopy and functional magnetic resonance imaging during visual stimulation. *J. Med. Eng. Technol.* 2011; 35 (6–7): 370–376.
52. *Ohmae E., Ouchi Y., Oda M. et al.* Cerebral hemodynamics evaluation by near-infrared time-resolved spectroscopy: correlation with simultaneous positron emission tomography measurements. *Neuroimage* 2006; 29 (3): 697–705.
53. *Edmonds H. L. Jr.* Emboli and renal dysfunction in CABG patients. *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 2004; 18 (5): 545–547.
54. *Dunham C. M., Ransom K. J., Flowers L. L. et al.* Cerebral hypoxia in severely brain-injured patients is associated with admission Glasgow Coma Scale score, computed tomographic severity, cerebral perfusion pressure, and survival. *J. Trauma* 2004; 56 (3): 482–489.
55. *Booth E. A., Dukatz C., Ausman J., Wider M.* Cerebral and somatic venous oximetry in adults and infants. *Surg. Neurol. Int.* 2010; 1: 75.
56. *Shroyer A. L., Coombs L. P., Peterson E. D. et al.* The Society of Thoracic Surgeons: 30-day operative mortality and morbidity risk models. *Ann. Thorac. Surg.* 2003; 75 (6): 1856–1864.

Поступила 14.12.11