МОНИТОРИНГ ГЕМОДИНАМИКИ И ТРАНСПОРТА КИСЛОРОДА ПРИ РЕВАСКУЛЯРИЗАЦИИ МИОКАРДА НА РАБОТАЮЩЕМ СЕРДЦЕ

А. А. Смёткин, М. Ю. Киров, В. В. Кузьков, А. И. Лёнькин,
А. В. Еремеев, В. Ю. Сластилин, В. В. Бородин

Северный государственный медицинский университет, кафедра анестезиологии и реаниматологии,
Отделение анестезиологии, реаниматологии и интенсивной терапии,
МУЗ Первая городская клиническая больница скорой медицинской помощи, Архангельск

Hemodynamic and Oxygen Transport Monitoring During Myocardial Revascularization on the Working Heart

A. A. Smetkin, M. Yu. Kirov, V. V. Kuzkov, A. I. Lenkin,
A. V. Yeremeyev, V. Yu. Slastilin, V. V. Borodin

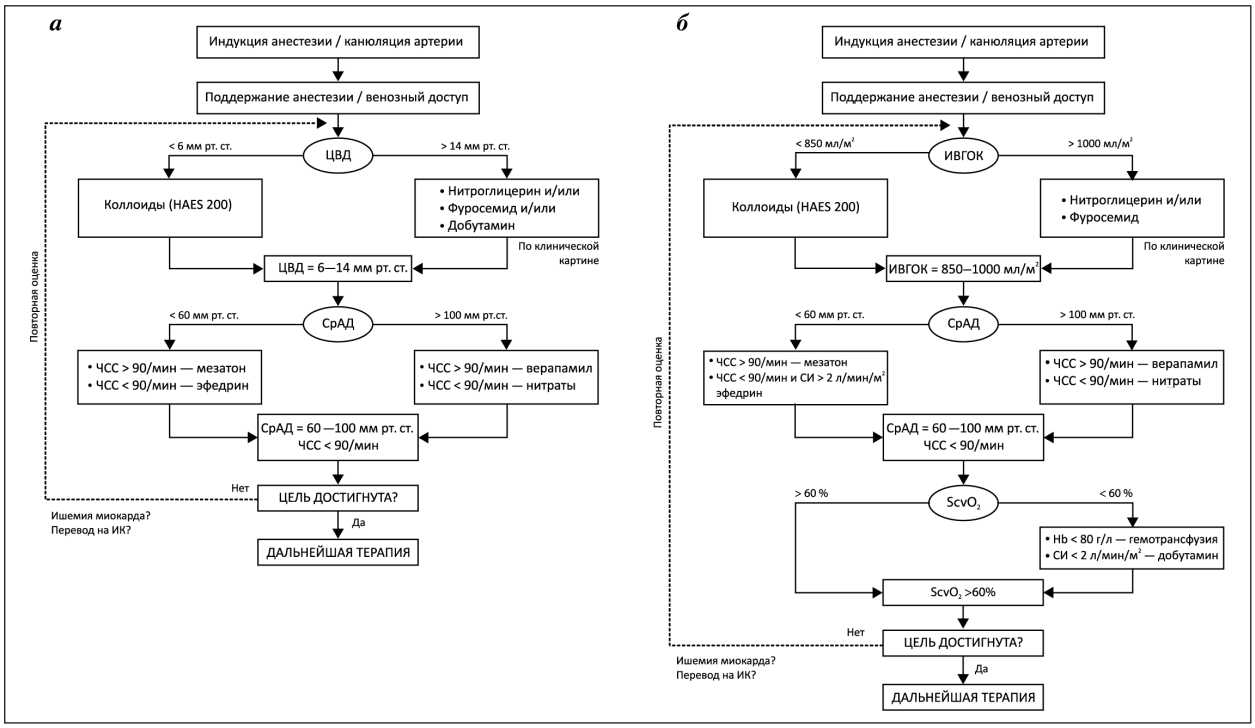
Department of Anesthesiology and Reanimatology, North State Medical University;
Unit of Anesthesiology, Reanimatology, and Intensive Care,
First City Clinical Hospital of Emergency Health Care, Arkhangelsk

Цель исследования **— оценить влияние алгоритма, основанного на комбинации транспульмональной термодилюции и непрерывного мониторинга насыщения венозной крови кислородом, на периоперационную инфузионную терапию и коррекцию гемодинамики, а также на продолжительность послеоперационного пребывания в отделении интенсивной терапии и стационаре при аортокоронарном шунтировании без искусственного кровообращения. *Материал и методы*. Пациенты были рандомизированы в две группы гемодинамического мониторинга: группа обычного мониторинга (ОМ) (*n*=20) и группа комплексного мониторинга (КМ) (*n*=20). В группе ОМ терапия основывалась на показателях центрального венозного давления, среднего артериального давления (СрАД) и частоты сердечных сокращений (ЧСС). В группе КМ терапия была основана на показателях индекса внутригрудного объема крови, СрАД, ЧСС, центральной венозной сатурации ($ScvO_2$) и сердечного индекса (СИ). Измерения проводили перед и во время операции, а также через 2, 4 и 6 часов после операции. *Результаты*. В группе КМ значимо чаще использовали коллоидные растворы и добутамин, что сопровождалось ростом $ScvO_2$ и СИ в сравнении с исходным значением. Частота использования эфедрина была значимо выше в группе ОМ. Алгоритм, основанный на комплексном мониторинге, позволил сократить время достижения критериев перевода из отделения интенсивной терапии и сроки послеоперационного пребывания в стационаре, соответственно, на 15 и 25%. *Выводы*. Целенаправленный алгоритм, основанный на комплексном мониторинге гемодинамики и транспорта кислорода, позволяет в ранние сроки выявить нарушения гемодинамики и провести их коррекцию, что может улучшить течение раннего послеоперационного периода при аортокоронарном шунтировании на работающем сердце. *Ключевые слова:* аортокоронарное шунтирование, целенаправленная терапия, центральная венозная сатурация.**

***Objective*: to evaluate the impact of the algorithm based on a combination of transpulmonary dilution and continuous venous blood oxygen saturation monitoring on perioperative infusion therapy and hemodynamic correction and on the length of postoperative stay in an intensive care unit and at hospital after aortocoronary bypass surgery without extracorporeal circulation. *Subjects and methods*. The patients were randomized to two hemodynamic monitoring groups: 1) routine monitoring (RM) (*n*=20) and 2) complex monitoring (CM) (*n*=20). In the RM group, therapy was based on the values of central venous pressure, mean blood pressure (BPmean), and heart rate (HR). In the CM group, it was founded on the values of intrathoracic blood volume index, BPmean, HR, central venous saturation ($ScvO_2$), and cardiac index (CI). Measurements were made before, during, and 2, 4, and 6 hours after surgery. *Results*. In the CM group, colloidal solutions and dobutamine were significantly more frequently used, which was followed by increases in $ScvO_2$ and CI as compared with the baseline values. The frequency of use of ephedrine was significantly higher in the RM group. The algorithm based on complex monitoring reduced the time of achieving the criteria for transferring from the intensive care unit and the length of postoperative hospital stay by 15 and 25%, respectively. *Conclusion*. Thus, the goal-oriented algorithm based on the complex monitoring of hemodynamics and oxygen transport makes it possible to reveal hemodynamic disturbances and correct them early, which can improve an early postoperative period during aortocoronary bypass surgery on the working heart. *Key words*: aortocoronary bypass surgery, goal-oriented therapy, central venous saturation.**

Адрес для корреспонденции (Correspondence to):

Киров Михаил Юрьевич
E-mail: smkirov@atnet.ru



Алгоритмы обычного (*а*) и комплексного (*б*) мониторинга гемодинамики и периоперационной терапии при аортокоронарном шунтировании на работающем сердце.
ЦВД — центральное венозное давление; СрАД — среднее артериальное давление; ЧСС — частота сердечных сокращений; ИВГОК — индекс внутригрудного объема крови; $ScvO_2$ — центральная венозная сатурация; СИ — сердечный индекс; Hb — плазменная концентрация гемоглобина.

Аортокоронарное шунтирование (АКШ) является наиболее часто выполняемым кардиохирургическим вмешательством, которое все чаще проводится без использования искусственного кровообращения (ИК) [1]. Аортокоронарное шунтирование без ИК позволяет проводить реваскуляризацию миокарда на работающем сердце, снижая риск осложнений, связанных с использованием экстракорпорального кровообращения.

Важное значение в периоперационной терапии АКШ без ИК отводится поддержанию работы миокарда, перфузии тканей и доставки кислорода к клеткам. Эти показатели могут в значительной мере изменяться в результате хирургических манипуляций на сердце и ишемии миокарда, в связи с чем АКШ без ИК требует тщательного контроля гемодинамики [2]. Среди методов гемодинамического мониторинга можно выделить технологию транспульмональной термодилюции (ТПТД), позволяющую оценивать преднагрузку, постнагрузку, сократимость миокарда и уровень внесосудистой воды легких. Используя калибровку с помощью ТПТД, можно проводить непрерывный мониторинг сердечного выброса и других гемодинамических показателей, основываясь на анализе контура пульсовой волны. Преимущества данного метода в кардиохирургии, в том числе при реваскуляризации миокарда, были продемонстрированы в целом ряде исследований [3, 4]. Еще одним направлением мониторинга при АКШ без ИК является раннее выявление тканевой гипоксии, которая может сохраняться, несмотря на нормальные значения среднего артериального давления (СрАД), центрального венозного давления (ЦВД), частоты сердечных сокращений (ЧСС) и темпа диуреза. В оценке адекватности глобальной доставки кислорода может быть использовано определение насыщения гемоглобина кислородом в центральной вене ($ScvO_2$). Низкий уровень $ScvO_2$ ассоциируется с повышенным риском послеоперационных осложнений и ухудшением клинического исхода [5, 6]. Тем не менее, влияние этих методов мониторинга на клинический исход АКШ до сих пор остается предметом дискуссий.

В связи с этим, целью нашего исследования явилась оценка воздействия алгоритма, основанного на комплексном мониторинге гемодинамики и транспорта кислорода, на периоперационную инфузионную терапию и коррекцию гемодинамики, а также на продолжительность послеоперационного пребывания в отделении интенсивной терапии (ОИТ) и стационаре у пациентов с АКШ без ИК.

Материалы и методы

В проспективное рандомизированное исследование было включено 43 пациента с диагнозом ишемической болезни сердца, которым планировалось проведение АКШ без ИК. Критериями исключения из исследования были возраст < 18 лет, значимая клапанная патология, выраженное поражение периферических сосудов, симультанное вмешательство (каротидная эндартерэктомия и т. д.) и необходимость перевода на ИК во время операции.

Вводную анестезию осуществляли мидазоламом 0,07 мг/кг, пропофолом 1 мг/кг и фентанилом 5—7 мкг/кг. Миорелаксацию достигали введением пипекурония бромида 0,1 мг/кг с последующими поддерживающими дозами 0,015 мг/кг/ч. Поддержание анестезии осуществляли пропофолом 3—5 мг/кг/ч и фентани-

лом 4—5 мкг/кг/ч. Искусственную вентиляцию легких (ИВЛ) проводили по полузакрытому контуру аппаратом Fabius (Dräger, Германия) с FiO_2 0,5, дыхательным объемом 7—8 мл/кг, частотой дыхания 12—14 дыханий в минуту, положительным давлением в конце выдоха 4 см вод. ст. и потоком свежего газа 1,0 л/мин.

Инфузионную терапию осуществляли раствором Рингера лактата со скоростью 6—7 мл/кг/ч непосредственно перед операцией и во время АКШ и со скоростью 2—3 мл/кг/ч в первые 6 часов послеоперационного периода. При выявлении у пациента показаний к волемической нагрузке согласно алгоритму гемодинамического мониторинга (см. рисунок) использовалось ступенчатое введение (по 500 мл в течение 30 мин) гидроксиэтилкрахмала (200 kDa, 6% Hemohaes, Braun, Германия) до максимальной суточной дозы 2 г/кг. Показанием для гемотрансфузии был уровень гемоглобина < 80 г/л. Оперативное вмешательство у всех пациентов выполняли одной хирургической бригадой.

Перед операцией пациенты были рандомизированы в две группы гемодинамического мониторинга. В группе обычного мониторинга (ОМ), коррекция гемодинамических и волемических нарушений основывалась на показателях ЦВД, ЧСС и СрАД (LifeScope, Nihon Kohden, Япония) (рисунок, *а*). В группе комплексного мониторинга (КМ) терапия основывалась на показателях индекса внутригрудного объема крови (ИВГОК), сердечного индекса (СИ) (PiCCO plus, Pulsion Medical Systems, Германия), ЧСС, СрАД и $ScvO_2$ (CeVOX, Pulsion, Германия) (рисунок, *б*).

После индукции в анестезию выполнялась катетеризация внутренней яремной вены. У пациентов группы ОМ выполнялась канюляция правой лучевой артерии. У пациентов группы КМ катетеризировали бедренную артерию, используя термодилюционный катетер (Pulsiocath PV2015L20, Pulsion, Германия). Данный катетер подключали к монитору 8100 PiCCO plus для проведения ТПТД и мониторинга ИВГОК, СИ, индекса внесосудистой воды легких (ИВСВЛ), индекса сократимости левого желудочка (dPmax) и индекса системного сосудистого сопротивления (ИССС). Для проведения непрерывного мониторинга $ScvO_2$ через дистальный порт центрального венозного катетера устанавливали фиброоптический датчик, который подключали к монитору CeVOX.

Гемодинамические параметры регистрировали на следующих этапах: после индукции в анестезию, после стернотомии, после наложения на поверхность сердца стабилизирующего устройства Octopus (Medtronic, США), после восстановления кровотока по шунтам, в конце операции и через 2, 4 и 6 часов после операции. Газовый состав крови и уровень лактата оценивали после индукции в анестезию, в конце операции и через 2, 4 и 6 часов после операции. Кроме того, регистрировали периоперационную потребность в инфузионной терапии, инотропной и вазопрессорной поддержке, продолжительность операции и послеоперационной ИВЛ, время до достижения критериев перевода из ОИТ, продолжительность пребывания в ОИТ, длительность послеоперационного пребывания в стационаре и частоту осложнений.

Статистический анализ осуществляли с использованием пакета программ SPSS. Для оценки нормальности распределения данных использовали тест Shapiro-Wilk. В зависимости от распределения данных использовали параметрические или непараметрические тесты для межгруппового и внутригруппового сравнения. Дискретные данные анализировали с помощью теста χ-квадрат. Для всех тестов значимым считали уровень $p<0,05$.

Результаты и обсуждение

Три пациента (один в группе ОМ и два в группе КМ), были переведены на ИК и исключены из последующего анализа. Исходно больные не различались по демографическим показателям, в том числе по сопутствующей патологии и предоперационным данным эхокардиографии. Продолжительность оперативного вмешательства была достоверно выше в группе КМ (163±38 мин по сравнению с 138±29 в группе ОМ). Количество шунтов, продолжительность послеоперационной ИВЛ и длительность послеоперационного пребывания в ОИТ не различались. Послеоперационные осложнения (раневая инфекция и нестабильность грудины) были зарегистрированы у одного пациента группы КМ и у четырех больных группы ОМ (p=0,15). В группе КМ сроки достижения критериев для перевода пациента из ОИТ, а также продолжительность послеоперационного пребывании в стационаре были ниже, соответственно, на 15 и 25% (p<0,04).

В периоперационном периоде не было отмечено межгрупповых различий по дозам анестетиков, верапамила, нитроглицерина и фуросемида, а также по объему кристаллоидов, скорости инфузии, объему кровопотери и темпу диуреза. Интраоперационно эфедрин чаще назначался у пациентов с ОМ (45% против 15 в группе КМ; p=0,038). В ходе АКШ больные группы КМ чаще получали добутамин (35% против 5 в группе ОМ, p=0,044) и гидроксиэтилкрахмал (соответственно, 80% и 5, p<0,001). Интраоперационный гидробаланс был на 15% выше в группе КМ (p=0,035). Трансфузии эритроцитарной массы не проводили.

В сравнении с исходным значением, ЦВД достоверно повышалось в обеих группах на этапе установки стабилизирующего устройства на поверхности сердца; в последующем данный показатель снижался. После реваскуляризации миокарда СрАД было ниже в группе ОМ (76±8 мм рт. ст. против 84±11 мм рт. ст. в группе КМ, p<0,05). После АКШ показатель СрАД повышался в группе КМ. Частота сердечных сокращений повышалась в обеих группах. Более выраженное снижение концентрации гемоглобина отмечалось к концу операции в группе КМ [110 (99—119) г/л против 120 (109—128) г/л в группе ОМ, p<0,05]. После реваскуляризации миокарда отмечались снижение pH и повышение уровня лактата крови без межгрупповых различий.

В таблице представлены гемодинамические показатели группы КМ. В ходе АКШ уровень $ScvO_2$ повышался на 7—13% (p<0,05) параллельно с ростом СИ и dPmax в 1,5—2 раза и снижением ИССС на 20—40% (p<0,05). После операции отмечались достоверное снижение ИВСВЛ и тенденция к увеличению ИВГОК (p=0,071).

Неадекватность тканевой перфузии может служить причиной высокой частоты послеоперационных осложнений и летальности после кардиохирургических вмешательств [7, 8]. При этом гипоперфузия и сниженная доставка кислорода могут возникать вследствие гиповолемии, депрессии миокарда и системной вазоконстрикции [9]. Эти нарушения гемодинамики достаточно часто встречаются при АКШ без ИК и могут быть быстро выявлены с помощью ТПТД. Так, в нашем исследовании после вводной анестезии была отмечена тенденция

Центральная венозная сатурация и гемодинамические показатели на этапах оперативного вмешательства и в послеоперационном периоде у пациентов группы комплексного мониторинга

Показатель	Значения показателей на этапах исследования							
	интраоперационный период					послеоперационный период		
	после индукции	стерно-томия	наложение стабилизи-рующего устройства	восста-новление крово-тока	конец операции	2 ч	4 ч	6 ч
$ScvO_2$, %	67±8	76±9*	75±9*	75±9*	73±9	69±12	69±6	67±6
СИ, л/мин/м^2	2,01±0,37	2,69±0,70*	2,32±0,45*	2,74±0,59*	2,63±0,57*	3,20±0,61*	3,23±0,59*	3,36±0,54*
dPmax, мм рт. ст./сек	524±285	643±238*	626±297	599±190*	669±187*	976±343*	1033±371*	860±278*
ИССС, дин•сек•см$^{-5}$•м$^{-2}$	2866±626	2177±519*	2368±740	2015±472*	2359±508*	2272±561*	2248±582*	2182±411*
ИВГОК, мл/м^2	873±194	909±139	852±132	906±150	845±130	910±150	909±138	923±160
ИВСВЛ, мл/кг	7 (6—10)	7 (6—9)	8 (6—10)	7 (6—8)	6 (5—9)	6 (5—8)*	5 (4—7)*	5 (4—7)*

Примечание. Данные представлены в виде среднего ± стандартное отклонение или медианы (25—75 процентили). $ScvO_2$ — центральная венозная сатурация; СИ — сердечный индекс; dPmax — индекс сократимости левого желудочка; ИССС — индекс системного сосудистого сопротивления; ИВГОК — индекс внутригрудного объема крови; ИВСВЛ — индекс внесосудистой воды легких. * — $p<0,05$ в сравнении с этапом «после индукции».

к уменьшению ИВГОК, что свидетельствует о низкой преднагрузке. Сниженные исходные показатели СИ и dPmax свидетельствуют о депрессии миокарда, в то время как повышение ИССС — о периферической вазоконстрикции. Во время операции и в послеоперационном периоде ИССС значимо снижался параллельно с улучшением функции сердца. Подобные изменения были отмечены в наших предыдущих исследованиях и работах других авторов [3, 4] и могут быть объяснены периоперационной дисфункцией миокарда и ее коррекцией в результате реваскуляризации миокарда и использования представленного алгоритма.

Оценка преднагрузки, основанная на ИВГОК, выявила показания к инфузионной терапии коллоидами у 80% больных, тогда как применение в качестве такого ориентира ЦВД в группе ОМ позволило назначить эти препараты лишь у 5% пациентов. Это объясняется тем, что во многих случаях ЦВД не отражает истинное состояние объема циркулирующей крови и, в связи с этим, не может быть использовано как предиктор гиповолемии у пациентов общехирургического и кардиохирургического профиля [3, 10]. Напротив, ИВГОК тесно коррелирует с СИ и диастолическим объемом левого желудочка и поэтому может быть использован как индикатор преднагрузки [11, 12]. Следует отметить, что в ходе АКШ существует опасность волемической перегрузки и развития отека легких, что может быть выявлено с помощью ИВСВЛ [4]. В нашем исследовании в послеоперационном периоде отмечалось снижение ИВСВЛ по сравнению с исходным значением, что может быть объяснено улучшением сократимости миокарда, проявляющимся повышением СИ и dPmax.

Улучшение функции миокарда в ходе АКШ сопровождалось повышением уровня $ScvO_2$. Так как термодилюционные измерения и последующая коррекция гемодинамики требуют дополнительного времени, падение $ScvO_2$ при реваскуляризации миокарда может быть использовано как скрининговый показатель недостаточной доставки кислорода. Так как основными причинами снижения транспорта кислорода могут служить гиповолемия, депрессия миокарда и анемия, изменения $ScvO_2$ следует использовать как показание для более детальной оценки гемодинамического статуса, включая измерение ИВГОК, СИ и уровня гемоглобина.

После операции у пациентов группы ОМ отмечалась тенденция к большей частоте развития инфекционных осложнений, таких как раневая инфекция и нестабильность грудины. Данные осложнения могут быть обусловлены гипоперфузией тканей и сниженной доставкой кислорода во время и после оперативного вмешательства; их наличие может удлинять время пребывания в ОИТ и продолжительность госпитализации. Несмотря на отсутствие различий в концентрации лактата в плазме крови, терапия, основанная на КМ, обеспечила более высокое значение системного перфузионного давления и привела к более выраженной гемодилюции. Полученные результаты подтверждаются данными отечественных и зарубежных авторов о том, что оптимизация гемодинамики и доставки кислорода у пациентов высокого риска может улучшить клинический исход [13, 14]. Кроме того, в недавних исследованиях при АКШ с ИК также было показано, что использование целенаправленной терапии, основанной на мониторинге преднагрузки, обеспечивает более стабильную гемодинамику и снижает продолжительность пребывания в стационаре, а также частоту осложнений [4, 15].

Заключение

Таким образом, в отличие от рутинного мониторинга ЧСС, СрАД и ЦВД, использование при АКШ без ИК алгоритма, основанного на комбинации транспульмональной термодилюции и непрерывного мониторинга $ScvO_2$, позволяет своевременно выявить гиповолемию и депрессию миокарда. Целенаправленная терапия влияет на стратегию инфузионной, инотропной и вазопрессорной терапии и может улучшить клинический исход реваскуляризации миокарда на работающем сердце.

Литература

1. *Chassot P. G., van der Linden P., Zaugg M. et al.* Off-pump coronary artery bypass surgery: physiology and anaesthetic management. Br. J. Anaesth. 2004; 92 (3): 400—413.
2. *Boldt J.* Clinical review: Hemodynamic monitoring in the intensive care unit. Crit. Care 2002; 6 (1): 52—59.
3. *Kirov M. Y., Lenkin A. I., Kuzkov V. V. et al.* Single transpulmonary thermodilution in off-pump coronary artery bypass grafting: haemodynamic changes and effects of different anaesthetic techniques. Acta Anaesthesiol. Scand. 2007; 51 (4): 426—433.
4. *Goepfert M. S., Reuter D. A., Akyol D. et al.* Goal-directed fluid management reduces vasopressor and catecholamine use in cardiac surgery patients. Intensive Care Med. 2007; 33 (1): 96—103.
5. Collaborative Study Group on Perioperative $ScvO_2$ Monitoring. Multicentre study on peri- and postoperative central venous oxygen saturation in high-risk surgical patients. Crit. Care 2006; 10 (6): R158.
6. *Галушка С. В., Мороз В. В., Власенко А. В.* Кислородный долг как критерий прогноза у больных с полиорганной недостаточностью. Анестезиология и реаниматология 2001; 6: 9—12.
7. *Shoemaker W. C., Thangathurai D., Wo C. C. et al.* Intraoperative evaluation of tissue perfusion in high-risk patients by invasive and noninvasive hemodynamic monitoring. Crit. Care Med. 1999; 27 (10): 2147—2152.
8. *Kern J. W., Shoemaker W. C.* Meta-analysis of hemodynamic optimization in high-risk patients. Crit. Care Med. 2002; 30 (8): 1686—1692.
9. *Hameed S. M., Aird W. C., Cohn S. M.* Oxygen delivery. Crit. Care Med. 2003; 31 (12 Suppl.): 658—667.
10. *Kumar A., Anel R., Bunnell E. et al.* Pulmonary artery occlusion pressure and central venous pressure fail to predict ventricular filling volume, cardiac performance, or the response to volume infusion in normal subjects. Crit. Care Med. 2004; 32 (3): 691—699.
11. *Hofer C. K., Furrer L., Matter-Ensner S. et al.* Volumetric preload measurement by thermodilution: a comparison with transoesophageal echocardiography. Br. J. Anaesth. 2005; 94 (6): 748—755.
12. *Sakka S. G., Bredle D. L., Reinhart K. et al.* Comparison between intrathoracic blood volume and cardiac filling pressure in the early phase of hemodynamic instability of patients with sepsis or septic shock. J. Crit. Care 1999; 14 (2): 78—83.
13. *Мороз В. В., Неверин В. К., Галушка С. В. и соавт.* Клиническая оценка кислородного долга у больного с полиорганной недостаточностью. Анестезиология и реаниматология 2000; 6: 29—34.
14. *Shoemaker W. C., Appel P. L., Kram H. B. et al.* Prospective trial of supranormal values of survivors as therapeutic goals in high-risk surgical patients. Chest 1988; 94 (6): 1176—1186.
15. *Pölönen P., Ruokonen E., Hippeläinen M. et al.* A prospective, randomized study of goal-oriented hemodynamic therapy in cardiac surgical patients. Anesth. Analg. 2000; 90 (5): 1052—1059.

Поступила 14.02.09

План научно-организационных мероприятий
ГУ НИИ общей реаниматологии РАМН в 2009 г.

1. Сертификационный курс анестезиологов-реаниматологов (ноябрь–декабрь) — 20 дней.
2. Конференция молодых ученых (декабрь) — 1 день.