

УДК 612.111.1:616.127

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.51783

## ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ ГЕМОГЛОБИНА И ГЕМАТОКРИТА НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ СИСТЕМНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ И СОКРАТИТЕЛЬНУЮ СПОСОБНОСТЬ МИОКАРДА

© О. А. Лоскутов

*В статье рассматривается влияние различных уровней гемоглобина (Hb) и гематокрита (Ht) на функциональное состояние сердца.*

*На основании анализа функциональных показателей системной гемодинамики и сократимости миокарда, в работе показано, что значения Ht=28 % и уровень Hb=90 г/л, являются минимально допустимыми показателями для кардиохирургических больных, при которых обеспечивается адекватная доставка кислорода миокарду*

**Ключевые слова:** аортокоронарное шунтирование, сократительная способность миокарда, минимально-допустимый уровень гемоглобина и гематокрита

*In the work it was considered an influence of the different hemoglobin (Hb) and hematocrit (Ht) levels on system hemodynamics parameters and functional state of the heart.*

**The aim of work** was to define the minimally allowable Ht and Hb level in patients who underwent aortocoronary shunting (ACS) when the heart functional state and the system hemodynamics are in line with oxygen and transport function of blood.

**Methods.** The group of research included 72 patients who underwent ACS with application of 3 aorto-coronal anastomoses. The age of patients was 66,96±1,81 years, mean weight – 86,5±1,44 kg, somatic state corresponded 3–5 point by European system of assessment of operative intervention risk for patients with CHD.

Anesthetic management included anesthesia on the base of sevoflurane (1,5–2,5 MAC) and fentanyl (10–15 mcg/kg for all time of operative intervention). Relaxation was provided with rocuronium bromide.

Artificial circulation was carried out under conditions of moderate hypothermia (central temperature +27–+30 °C). An efficiency of artificial circulation apparatus in the period of perfusion was 2,5 l/min./m<sup>2</sup>.

**Results.** At studying the dynamics of parameters that represent myocardial contractility (heart index, HI), shock work index of the left ventricle (SWI<sub>lv</sub>), the degree of shortening of anteroposterior size of the left ventricle into systole, depending on Ht and Hb level the system hemodynamics state can be characterized as:

– at Ht value=23–24 % and Hb level =70–75 g/l – hypofunction of system hemodynamics was defined by histological type with low level of oxygen delivery;

– at Ht value=25–31 % and Hb level=80 g/l – was defined subcompensated norm-function with low level of oxygen delivery;

– at Ht value=32–35 % and Hb level=90–110 g/l – was defined norm-function of the system blood circulation.

At calculation of minimally allowable Ht and level Hb using the method of least squares and linear programming there were demonstrated that myocardial contractility parameters that provide the norm-function state of system blood circulation was defined at the minimal Ht values=28 % and Hb level= 90 g/l.

**Conclusion.** On the base of analysis of functional parameters of the system hemodynamics and myocardial contractility Ht values =28 % and Hb level=90 g/l are minimally allowable parameters for cardio-surgical patients in early post-perfusion and early postsurgical periods at which an adequate oxygen delivery is ensured

**Keywords:** aortocoronary shunting, myocardial contractility, minimal allowable hemoglobin and hematocrit level

### 1. Введение

Сердечно-сосудистые заболевания являются одной из главных причин смертности во всем мире. Основной вклад в ее структуру принадлежит ишемической болезни сердца (ИБС), которая стала самой большой угрозой для здоровья населения во всем мире [1].

По оценкам Американской кардиологической ассоциации в США у 17600000 человек диагностирована ИБС [2].

Украина занимает одно из первых мест в Европе по показателям смертности от болезней системы кровообращения (459,48 на 100 000 населения), которые существенно превышают аналогичные показатели во Франции (30,08 на 100 000 населения), Германии (75,09 на

100 000 населения.), Польши (88,37 на 100 000 населения), Великобритании (76,11 на 100 000 населения) [3].

За период 2008–2012 гг. показатели распространенности ИБС в Украине среди взрослых постепенно увеличивались (на 6,7 %) и достигли 24 088,1 человека на 100 тыс. населения [3].

В настоящее время существует несколько путей в лечении ИБС: медикаментозная терапия, эфферентные методы терапии и хирургическое лечение, которое включает в себя баллонную дилатацию, стентирование коронарных артерий и операции аортокоронарного шунтирования (АКШ).

Наиболее эффективной и долговременной (в плане положительных отсроченных результатов) сре-

ди данных методик является АКШ. На сегодняшний день в Украине проводится около 394 кардиохирургических операций на 1 млн. населения, что на конец 2011 г. составило 17997 оперативных вмешательств (при потребности около 35 тыс.) [4].

Проведение кардиохирургических операций у подобного контингента больных предполагает создание оптимальных условий для адекватного функционирования системной гемодинамики и поддержания функциональной способности миокарда на уровне, когда внешняя работа сердца по перекачиванию крови не превышает резервы коронарного кровотока.

Это в большой мере относится к системе доставки и потребления кислорода, вокруг которой формируются звенья любого патологического процесса.

## 2. Обоснование исследования

В настоящее время, в научных исследованиях, вопросам поддержания оптимального уровня гемоглобина и гематокрита при оперативных вмешательствах, уделяется достаточно много внимания [5]. Данная проблематика особо актуальна у больных с мультифокальным атеросклеротическим поражением коронарных сосудов, поскольку сама коронарная недостаточность может ограничить устойчивость больного к различным видам анемии [5, 6].

У кардиохирургических пациентов на фоне искусственного кровообращения, гипотермии и гемодилюции, сердечно-сосудистая система и кровь с ее способностью обратимо связывать кислород претерпевают значительные изменения [7]. Исследования, проведенные у взрослых пациентов, которые оперировались в условиях искусственного кровообращения, показали, что среди причин, оказывающих прямое отрицательное влияние на сократимость миокарда, факторы, обусловленные изменениями со стороны газотранспортной функции крови, составляют более 10 % случаев [8].

В ряде научных публикаций указывается, что снижение уровня гемоглобина (Hb) и гематокрита (Ht), с одной стороны, вызывает пропорциональное уменьшение содержания кислорода в крови, с другой – повышает скорость кровотока через капилляры, улучшает распределение эритроцитов в них, тем самым, повышая экстракцию кислорода клетками организма [9, 10].

Однако в других публикациях приводятся данные о том, что при низких уровнях гематокрита определяется значительное уменьшение системного потребления кислорода и снижение коронарного кровотока, что не обеспечивает энергетических потребностей сердца, вследствие чего развивается гипоксия миокарда и падение фракции выброса [11].

В свою очередь, коронарная недостаточность также может ограничить устойчивость больного к нормоволемической анемии [11, 12]. Пограничные значения гематокрита, при котором кислородный баланс миокарда поддерживается на адекватном уровне, у больных с ишемической болезнью сердца не известен, а данные экспериментов на животных с искусственно вызванным коронарным стенозом противоречивы.

Таким образом, в современной научной литературе отсутствуют четкие критерии минимально допустимого уровня гематокрита и гемоглобина, при котором функциональное состояние сердца находится в соответствии с кислородными потребностями миокарда.

Данное положение и определило направление нашего исследования.

## 3. Цель работы

Определение минимально допустимого уровня гематокрита и гемоглобина у пациентов, прооперированных по поводу аортокоронарного шунтирования, при котором функциональное состояние сердца и системная гемодинамика находились бы в соответствии с кислородно-транспортной функцией крови.

## 4. Материалы и методы исследования

В группу наблюдения было включено 72 пациента, которым было выполнено изолированное АКШ с наложением трех аорто-венечных анастомозов.

Нами было отобраны пациенты, соматическое состояние которых отвечало 3–5 баллам по Европейской системе оценки риска оперативного вмешательства для пациентов с ИБС.

Возраст пациентов колебался от 58 до 72 лет (в среднем  $66,96 \pm 1,81$  лет). Средний вес составлял  $86,5 \pm 1,44$  (от 67 до 102 кг).

Вводный наркоз у обследованных больных проводился по принципу «болюс» анестезии севофлураном, который подавался в контур наркозного аппарата на спонтанном дыхании по полуоткрытому контуру в дозе 8 об. %. Релаксацию для интубации трахеи обеспечивали рокуронием бромидом в дозе 0,08 мг/кг. После введения гипнотика и релаксанта, все оперируемые больные внутривенно получали фентанил (1,5–2 мкг/кг). Интубацию трахеи выполняли эндотрахеальными термопластичными трубками «Portex». Поддержания анестезии осуществлялось с помощью ингаляционной подачи севофлурана по полузакрытому контуру с поддержанием 1,5–2,5 МАК.

Аналгезия обеспечивалась внутривенным введением фентанила (10–15 мкг/кг на все время оперативного вмешательства).

Искусственная вентиляция легких проводилась с использованием наркозно-дыхательных аппаратов «Dräger» (Германия) с применением полузакрытого контура в режиме нормовентиляции с концентрацией кислорода во вдыхаемой смеси ( $FiO_2$ ) 40–70 % с поддержанием нормокапнии.

Искусственное кровообращение проводился в условиях умеренной гипотермии (центральная температура  $+27$ – $+30$  °C). Производительность аппарата искусственного кровообращения в период перфузии составляла 2,5 л/мин./м<sup>2</sup>.

Адекватность анестезиологической защиты оценивалась по клиническим признакам, показаниям BIS – монитора, мониторинга параметров газообмена и гемодинамики.

Для клинической оценки состояния гемодинамики в группе наблюдения, были использованы сле-

дующие методы инструментального обследования: мониторинг системных показателей кровообращения (мониторные системы «IntellsVue MP50» фирмы «Philips» (Нидерланды)), эхо-кардиография (проводимая с помощью эхо-кардиографического аппарата «Aplio XG SSA-770A» компании «Toshiba» (Япония)), клинические измерения.

Анализ полученных результатов проводился на персональном компьютере с использованием прикладных программ «Excel 2007» и «Statistica 6».

**5. Результаты исследований**

Выявленные нами изменения показателей системной гемодинамики и контрактильной способности миокарда при различных уровнях гематокрита представлены в табл. 1.

Динамика функциональных показателей системного кровообращения и сократительной способности миокарда, которые наблюдались у обследованных пациентов при различных уровнях гемоглобина представлена в табл. 2.

Таблица 1

Характеристика функциональных показателей системной гемодинамики и сократительной способности миокарда при различных уровнях гематокрита (N=58)

Показатель, единицы измерения	Значения Ht (%)						
	22,0	23,0	24,0	25,0	26,0	27,0	28,0
Показатели системной гемодинамики							
ЧСС, уд./мин.	100,3±4,1	102,1±7,3	99,7±8,4	98,3±8,2	96,2±3,1	87,4±3,5	82,6±6,1
АДср, мм рт. ст.	62,13±3,2	63,7±3,8	65,3±4,7	78,7±4,2*	75,3±3,1	84,3±5,7	86,3±6,2
ЦВД, мм рт. ст.	7,5±1,1	6,7±0,5	7,3±0,9	8,1±0,6	7,8±0,6	7,4±1,1	6,8±0,4
СИ, л/мин./м <sup>2</sup>	2,6±0,12	2,8±0,23	2,81±0,13	3,3±0,10*	3,39±0,19	3,38±0,15	3,4±0,12
ΔS, %	24,5±1,3	25,7±1,4	26,9±1,7	32,5±1,6*	33,4±1,9	33,1±1,7	34,2±1,9
ИОПСС, дин.·с·см <sup>-5</sup> ·м <sup>2</sup>	1372±96,7	1322,7±112,6	1448,9±108	1822±104,3*	1621,7±112,2	2240,4±128,2*	2341,7±109,7
ИУРлж, г·м/м <sup>2</sup>	22,3±0,9	23,6±1,5	24,5±1,1	28,3±1,3*	29,7±1,9	28,4±1,2	27,8±1,3
Показатели доставки и потребления кислорода							
ИДО <sub>2</sub> , мл/мин./м <sup>2</sup>	251,2±67,8	261,5±47,4	268,9±53,7	322,8±47,4*	332,2±53,7	346,6±47,2	339,3±62,4
ИСО <sub>2</sub> , мл/мин./м <sup>2</sup>	84,5±9,4	92,7±8,3	94,1±6,3	109,4±9,2	121,6±12,1	128,4±23,5	132,7±24,8
КТЭО <sub>2</sub> , %	32,1±2,0	33,9±2,3	35,8±3,1	34,9±2,1	35,9±2,3	34,2±2,4	32,8±2,2
Показатель, единицы измерения	Значения Ht (%)						
	29,0	30,0	31,0	32,0	33,0	34,0	35,0
Показатели системной гемодинамики							
ЧСС, уд./мин.	79,4±5,3	78,2±6,1	77,1±4,3	76,5±5,2	75,3±4,4	74,5±4,8	73,5±5,3
АДср, мм рт. ст.	87,4±6,2	88,3±7,1	86,3±4,8	84,7±7,5	83,3±5,2	89,9±7,4	87,9±6,4
ЦВД, мм рт. ст.	7,7±0,8	8,2±1,1	8,3±0,7	8,4±0,5	8,1±0,9	8,4±0,5	8,2±0,4
СИ, л/мин./м <sup>2</sup>	3,3±0,21	3,39±0,18	3,54±0,13	4,2±0,17*	4,1±0,12	4,3±0,14	4,2±0,16
ΔS, %	34,5±1,2	35,5±1,9	36,8±1,7	43,2±1,6*	43,4±1,2	42,4±1,3	41,7±1,4
ИОПСС, дин.·с·см <sup>-5</sup> ·м <sup>2</sup>	2303±102,4	2343,5±118	2235,5±38,3	2311,2±135,5	2218,7±109,3	2401,9±108,2	2245,3±118,4
ИУРлж, г·м/м <sup>2</sup>	29,2±1,7	30,8±1,1	34,9±1,2	43,3±2,14*	48,5±1,7*	45,4±1,8	44,5±1,2
Показатели доставки и потребления кислорода							
ИДО <sub>2</sub> , мл/мин./м <sup>2</sup>	340,2±22,5	341,1±43,4	382,7±51,2	496,4±43,7*	510,2±35,4	522,1±22,5	539,1±24,5
ИСО <sub>2</sub> , мл/мин./м <sup>2</sup>	128,23±35,1	133,72±25,6	136,9±24,3	143,4±26,8	137,4±25,8	139,21±23,3	140,22±27,8
КТЭО <sub>2</sub> , %	28,8±2,4	29,1±1,7	29,9±2,1	29,3±2,3	27,6±1,7	26,9±2,5	27,1±2,3

Примечания:

\* – Отличие показателей по сравнению с предыдущим значением статистически достоверно (p<0,05).

ЧСС – частота сердечных сокращений; АДср – среднее артериальное давление; ЦВД – центральное венозное давление;

СИ – сердечный индекс; ΔS – степень укорочения переднезаднего размера левого желудочка в систолу;

ИОПСС – индекс общепериферического сосудистого сопротивления;

ИУРлж – индекс ударной работы левого желудочка;

ИДО<sub>2</sub> – индекс системной доставки кислорода; ИСО<sub>2</sub> – индекс системного потребления кислорода;

КТЭО<sub>2</sub> – коэффициент тканевой экстракции кислорода

Таблица 2

Характеристика функциональных показателей системной гемодинамики и сократительной способности миокарда при различных уровнях гемоглобина (N=58)

Показатель, единицы измерения	Значения Hb (г/л)						
	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0	110,0
Показатели системной гемодинамики							
ЧСС, уд./мин.	102,5±8,1	105,3±10,4	101,9±4,3	98,5±5,4	82,3±4,2*	76,1±4,7	77,3±6,2
АДср, мм рт. ст.	58,3±5,4	59,6±4,9	60,7±2,4	62,3±5,1	78,5±4,3*	85,3±5,1	84,8±5,5
ЦВД, мм рт. ст.	7,3±1,7	7,0±1,8	6,8±0,7	7,1±0,5	7,9±0,6	8,1±0,5	8,2±0,4
СИ, л/мин./м <sup>2</sup>	2,5±0,13	2,47±0,16	2,51±0,20	2,8±0,12	3,7±0,11*	3,9±0,14	4,1±0,10
ΔS, %	24,3±1,2	24,9±1,8	25,1±1,2	25,4±1,5	35,5±1,7*	39,1±1,6	42,2±1,4
ИОПСС, дин.·с·см <sup>-5</sup> ·м <sup>2</sup>	1340±90,5	1295,2±93,4	1356,7±102,6	1422,9±118	1532±94,2	2140,5±82,3*	2302,2±125,5
ИУРлж, г·м/м <sup>2</sup>	21,2±0,9	20,8±0,7	22,3±1,2	23,5±1,4	29,7±1,6*	36,7±1,5*	47,3±1,12*
Показатели доставки и потребления кислорода							
ИДО <sub>2</sub> , мл/ мин./м <sup>2</sup>	225,3±65,9	237,5±45,4	231,5±36,4	318,2±33,7	482,5±43,4*	522,7±31,2	536,2±40,7
ИСО <sub>2</sub> , мл/ мин./м <sup>2</sup>	82,4±8,9	80,1±7,5	93,7±6,2	114,1±6,4	128,3±7,2*	138,9±27,3*	140,4±24,9
КТЭО <sub>2</sub> , %	31,5±2,4	30,8±2,1	32,7±2,3	33,5±2,3	33,5±2,4	29,5±2,4	29,5±2,3

Примечание: \* – Отличие показателей по сравнению с предыдущим значением статистически достоверно ( $p < 0,05$ ).

ЧСС – частота сердечных сокращений;

АДср – среднее артериальное давление;

ЦВД – центральное венозное давление;

СИ – сердечный индекс;

ΔS – степень укорочения переднезаднего размера левого желудочка в систолу;

ИОПСС – индекс общепериферического сосудистого сопротивления;

ИУРлж – индекс ударной работы левого желудочка;

ИДО<sub>2</sub> – индекс системной доставки кислорода;

ИСО<sub>2</sub> – индекс системного потребления кислорода;

КТЭО<sub>2</sub> – коэффициент тканевой экстракции кислорода

## 6. Обсуждение результатов

Проводя изучение состояния системной гемодинамики при различных уровнях гематокрита, нами было выявлено, что при значениях Ht=22 %, у обследованных пациентов отмечалась тахикардия со средней частотой сердечных сокращений (ЧСС) равной 100,3±4,1 уд. в мин. (табл. 1).

Подобные значения ЧСС уменьшали продолжительность фазы диастолы и для пациентов с ИБС являлись неприемлемыми, что диктовало использование амидарона и β-блокаторов.

И только при значениях Ht=28–29 %, прослеживалась тенденция снижения значений ЧСС, которые составляли соответственно 82,6±6,1 уд. в мин. и 79,4±5,3 уд. в мин. (табл. 1).

Когда значение Ht достигали уровня 30 %, значения ЧСС составляли 78,2±6,1 уд. мин., что в среднем на 22,03±1,7 % было меньше по сравнению со значениями ЧСС при Ht=22 % и в среднем на 19,2±1,4 % – по сравнению с показателями ЧСС при Ht=23 % – 27 % (табл. 1). При дальнейшем повышении уровня гематокрита до 35 % на экспоненциальной ли-

нии тренда отмечалась тенденция дальнейшего снижения показателей ЧСС с достоверностью аппроксимации (R) меньше 1.

Таким образом, оптимальные значения ЧСС, при которых обеспечивалась адекватная продолжительность фазы диастолы, для больных, прооперированных по поводу АКШ, находилась в области значений Ht>28 % (табл. 1).

Анализируя зависимость показателей ЧСС от уровня гемоглобина в исследуемой группе, было отмечено, что при значениях Hb=50 г/л, значения ЧСС составляли 102,5±8,1 уд. в мин., что не обеспечивало адекватной продолжительности фазы диастолы (табл. 2).

Подобная тенденция наблюдалась и при значениях гемоглобина, которые находились в пределах от 60 г/л до 80 г/л (табл. 2).

При достижении уровня Hb=90 г/л, значения ЧСС составляли 82,3±4,2 уд. в мин., что было в среднем на 19,7±1,5 % меньше, в сравнении с показателями ЧСС при Hb=50 г/л и на 19,2±1,8 % – по отношению к значениям гемоглобина, которые находились в пределах от 60 г/л до 80 г/л (табл. 2).

При дальнейшем повышении уровня гемоглобина до 100–110 г/л на экспоненциальной линии тренда отмечалась тенденция дальнейшего снижения показателей ЧСС с достоверностью аппроксимации (R) меньше 1.

Таким образом, оптимальные значения ЧСС, при которых обеспечивалась адекватная продолжительность фазы диастолы, для больных, прооперированных по поводу АКШ, находилась в области значений  $Hb \geq 90$  г/л (табл. 2).

Показатели центрального венозного давления в исследуемой группе не имел достоверных различий (табл. 1) в связи с тем, что на момент обследования, пациентам проводилась коррекция данного показателя путем инфузии плазмозаменителей.

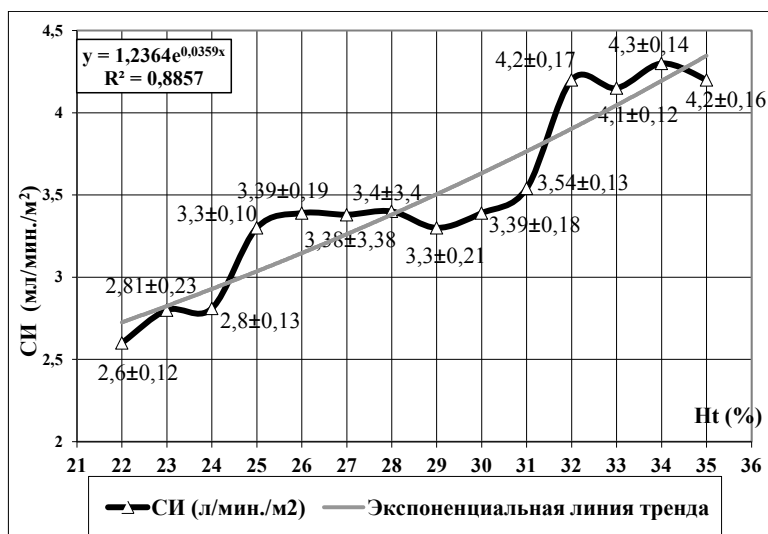


Рис. 1. Зависимость средних значений СИ от показателей гематокрита в обследованной группе больных (N=58)

Характеризуя динамику изменения сердечного индекса (СИ) в обследованной группе пациентов, следует отметить, что при уровне гематокрита в пределах 22–24 %, отмечались низкие значения СИ от 2,6±0,12 л/мин./м² (при Ht=22 %) до 2,81±0,13 л/мин./м² (при Ht=24 %) (табл. 1, рис. 1).

И хотя, показатели среднего артериального давления (АДср.) в данных пределах гематокрита составляли 62,13±3,2–65,3±4,7 мм рт. ст. (табл. 1), функциональное состояние системного кровообращения, в этот период, можно было трактовать как гиподинамию системной гемодинамики по гипосистолическому типу.

Когда значение гематокрита достигали уровня 25 %, наблюдалось достоверное увеличение СИ до 3,3±0,10 л/мин./м² ( $p < 0,05$ ), что в среднем на 18,2±1,1 % было больше, по сравнению со средними показателями СИ при Ht=22–24 % (табл. 1, рис. 1). Однако следует отметить, что при этом индекс системной доставки кислото-

рода ( $ИДО_2$ ) оставался сниженным и составлял 322,8±47,4 мл/мин./м² (табл. 1).

В дальнейшем, достоверное повышение СИ наблюдалось при достижении уровня Ht=32 % ( $p < 0,05$ ), что в среднем на 38,1±2,3 % превосходило соответствующие показатели СИ при Ht=22 %, и на 15,7±1,4 % было больше предыдущих значений при Ht=31 % (табл. 1, рис. 1). При этом  $ИДО_2$  составлял 496,4±43,7 мл/мин./м², что в среднем на 49,4±3,2 % было больше соответствующих значений, определяемых при уровне Ht=22 %, и на 22,9±1,8 % – в сравнении с предыдущим показателем при уровне Ht=31 % (табл. 1, рис. 1).

При дальнейшем росте уровня гематокрита от 32 % до 35 % достоверных изменений со стороны СИ не наблюдалось ( $p > 0,1$ ). Средние показатели СИ в этом промежутке значений гематокрита составляли 4,2±0,13 л/мин./м² (табл. 1, рис. 1), а показатели  $ИДО_2$  соответствовали значениям нормы (табл. 1).

При значениях гемоглобина, которые находились в пределах от 50 г/л до 70 г/л, показатели СИ соответствовали гипосистолическому типу функционального состояния системной гемодинамики и составляли в среднем 2,49±0,11 л/мин./м² (табл. 2, рис. 2). При этом  $ИДО_2$  также был снижен и определялся в пределах от 225,3±65,9 мл/мин./м² до 231,5±36,4 мл/мин./м² (табл. 2).

При достижении уровня Hb=80 г/л, значения СИ повышались на 10,4±1,2 %, относительно предыдущих значений и составляли 2,8±0,12 л/мин./м² (табл. 2, рис. 2). При этом  $ИДО_2$  определялся в пределах 318,2±33,7 мл/мин./м² (табл. 2).

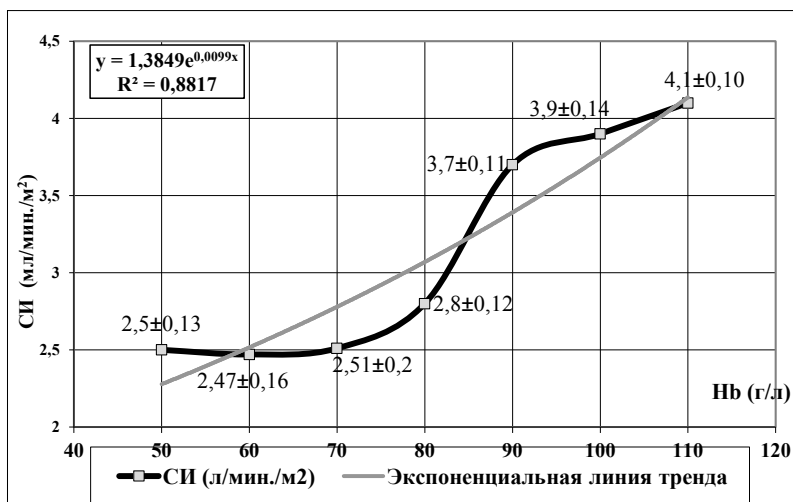


Рис. 2. Зависимость средних значений СИ показателей гемоглобина в обследованной группе больных (N=58)

При достижении уровня Hb=90 г/л, значения СИ составляли 3,7±0,11 л/мин./м², что было в среднем на 32,4±2,7 % больше, в сравнении с показателями СИ при Hb=50 г/л и на 29,91±1,6 % – по отношению к значениям СИ, которые определялись при уровне ге-

моглобина от 60 г/л до 90 г/л (табл. 2, рис. 2). ИДО<sub>2</sub> при значениях Hb=90 г/л достигал нормальных величин и составлял 482,5±43,4 мл/мин./м<sup>2</sup>, что было больше предыдущих значений на 34,1±2,5 % (табл. 2).

При дальнейшем повышении уровня гемоглобина до 100 г/л – 110 г/л на экспоненциальной линии тренда отмечалась тенденция дальнейшего повышения показателей СИ с достоверностью аппроксимации (R) меньше 1 (рис. 2).

Как видно из представленной табл. 1, при уровне Ht=22–31 %, индекс ударной работы левого желудочка (ИУРлж) в среднем составлял от 22,3±0,9 г·м/м<sup>2</sup> до 34,9±1,2 г·м/м<sup>2</sup>, что соответствовало гипофункциональному состоянию сердечной деятельности.

При достижении уровня Ht=32 %, значения ИУРлж возрастали до 43,3±2,14 г·м/м<sup>2</sup>, что в среднем было на 48,5±3,4 % больше по отношению к соответствующим значениям, которые определялись при уровне Ht=22 %, и на 19,4±2,3 % – по сравнению с предыдущим значением при уровне Ht=31 % (табл. 1). При этом наблюдалось достоверное увеличение показателей ИДО<sub>2</sub>, которые увеличивались относительно предыдущего показателя на 22,9±1,8 г·м/м<sup>2</sup> (табл. 1).

При уровне Ht=33 %, наблюдалась тенденция дальнейшего увеличения ИУРлж в среднем на 10,7±1,2 % по сравнению с предыдущим значением (табл. 1).

При дальнейшем росте уровня гематокрита от 34 % до 35 % достоверных изменений со стороны ИУРлж не наблюдалось (p>0,1). Средние показатели ИУРлж в этом промежутке значений гематокрита составляли 44,95±3,5 г·м/м<sup>2</sup> (табл. 1), а показатели ИДО<sub>2</sub> соответствовали значениям нормы (табл. 1).

При уровне гемоглобина, которые находились в пределах от 50 г/л до 90 г/л, показатели ИУРлж соответствовали гипосистолическому типу функционального состояния системной гемодинамики и составляли в среднем 21,95±2,4 г·м/м<sup>2</sup> (табл. 2). При этом ИДО<sub>2</sub> также был снижен и определялся в пределах от 225,3±65,9 мл/мин./м<sup>2</sup> до 318,2±33,7 мл/мин./м<sup>2</sup> (табл. 2).

При достижении уровня Hb=90 г/л, значения ИУРлж повышались на 20,9±1,5 %, относительно предыдущих значений и составляли 29,7±1,6 г·м/м<sup>2</sup> (табл. 2). При этом ИДО<sub>2</sub> определялся в пределах 482,5±43,4 мл/мин./м<sup>2</sup> (табл. 2).

При дальнейшем увеличении уровня гемоглобина до 100–110 г/л отмечался прогрессивный рост показателей ИУРлж, что сопровождалось увеличением значений ИДО<sub>2</sub>. Так при достижении уровня Hb=100 г/л, значения ИУРлж составляли 36,7±1,5 г·м/м<sup>2</sup>, что было в среднем на 42,2±3,4 % больше, в сравнении с показателями ИУРлж, определяемых при Hb=50 г/л и на 19,1±1,2 % – по отношению к предыдущим значениям (табл. 2).

Для оценки функции сократимости сердечной мышцы, при различных значениях гематокрита и гемоглобина, нами также рассчитывался индекс, отображающий сократительную способность миокарда левого желудочка (ЛЖ) – степень укорочения переднезаднего размера ЛЖ в систолу (ΔS).

При значениях гематокрита равных 22–24 %, показатели ΔS определялись в пределах 24,5±1,3 % – 26,9±1,7 % (табл. 1), что в среднем на 8,2±1,3 % было меньше значений возрастной нормы для данного контингента больных. Таким образом, в указанных пределах гематокрита сократительная функция ЛЖ характеризовалась как гипосистолическая.

Когда значение гематокрита достигали уровня 25 %, наблюдалось статистически достоверное увеличение сократительной способности ЛЖ, что выражалось в увеличении показателей ΔS до уровня 32,5±1,6 % (табл. 1). Средние значения ΔS при Ht=25 % были на 24,6±1,8 % больше, по сравнению с соответствующими значениями ΔS, которые определялись при уровне Ht=22 % и на 17,2±1,1 % – по сравнению с соответствующими показателями при Ht=24 % (табл. 1). Однако следует отметить, что при этом ИДО<sub>2</sub> оставался сниженным и составлял 322,8±47,4 мл/мин./м<sup>2</sup> (табл. 1).

При дальнейшем росте уровня гематокрита от 25 % до 32 % достоверных изменений со стороны ΔS не наблюдалось (p>0,1). Средние показатели ΔS в этом промежутке значений гематокрита составляли 34,3±2,5 % (табл. 1), а показатели ИДО<sub>2</sub> оставались сниженными (табл. 1).

При достижении уровня Ht=32 %, определялось достоверное увеличение показателей ΔS, которые составляли 43,2±1,6 % (табл. 1). Данные значения были на 43,3±2,4 % больше в сравнении с соответствующими значениями, которые были зафиксированы при уровне Ht=22 %, и на 14,8±1,1 – по отношению к предыдущему показателю гематокрита (табл. 1).

При этом наблюдалось и увеличение значений ИДО<sub>2</sub>, которые увеличивались по отношению к предыдущему показателю на 22,9±1,3 % и соответствовали значениям нормы (табл. 1).

При дальнейшем повышении уровня гематокрита, достоверного увеличения показателей ΔS не наблюдалось, а зафиксированные значения соответствовали возрастным показателям нормы для обследованной группы пациентов (табл. 1).

При значениях гемоглобина, которые находились в пределах от 50 г/л до 90 г/л, показатели ΔS соответствовали гипосистолическому типу функционального состояния системной гемодинамики и составляли в среднем 24,9±2,3 % (табл. 2). При этом ИДО<sub>2</sub> также был снижен и определялся в пределах от 225,3±65,9 мл/мин./м<sup>2</sup> до 318,2±33,7 мл/мин./м<sup>2</sup> (табл. 2).

При достижении уровня Hb=90 г/л, значения ΔS достоверно повышались на 28,5±1,4 %, относительно предыдущего показателя и составляли 35,5±1,7 % (табл. 2). Данные показатели превышали значения ΔS, которые были зафиксированы при Hb=50 г/л в среднем на 31,5±2,7 % (табл. 2). При этом ИДО<sub>2</sub> определялся в пределах 482,5±43,4 мл/мин./м<sup>2</sup> (табл. 2), что было больше предыдущего показателя на 34,1±2,7 % (табл. 2).

При дальнейшем повышении уровня гемоглобина до 100–110 г/л на экспоненциальной линии тренда отмечалась тенденция дальнейшего повышения показателей ΔS с достоверностью аппроксимации (R) меньше 1.

Таким образом, исследуя изменения СИ в зависимости от уровня гематокрита и гемоглобина, состояние системной гемодинамики можно охарактеризовать следующим образом:

– при значениях  $Ht=22-24\%$  и уровне  $Hb=50-70$  г/л – как гипофункцию системной гемодинамики по гипосистолическому типу с низким уровнем доставки кислорода;

– при значениях  $Ht=25-31\%$  и уровне  $Hb=80$  г/л – как состояние субкомпенсированной нормофункции, которое сопровождалось низким уровнем доставки кислорода;

– при значениях  $Ht=32-35\%$  и уровне  $Hb=90-110$  г/л – как состояние нормофункции системного кровообращения.

Анализируя изменения показателей ИУРлж в зависимости от уровня гематокрита и гемоглобина, состояние системного кровообращения можно представить следующим образом:

– при значениях  $Ht=22-31\%$  и уровне  $Hb=50-80$  г/л – как гипофункцию системной гемодинамики по гипосистолическому типу с низким уровнем доставки кислорода;

– при значениях  $Ht=32-35\%$  и уровне  $Hb \geq 90$  г/л – как состояние нормофункции системного кровообращения.

Динамика изменений значений  $\Delta S$  в зависимости от уровня гематокрита и гемоглобина, характеризовалась следующими характеристиками центральной гемодинамики:

– при значениях  $Ht=22-24\%$  и уровне  $Hb=50-90$  г/л – как гипофункцию системной гемодинамики по гипосистолическому типу с низким уровнем доставки кислорода;

– при значениях  $Ht=25-31\%$  – как состояние субкомпенсированной нормофункции, которое сопровождалось низким уровнем доставки кислорода;

– при значениях  $Ht=32-35\%$  и уровне  $Hb=90-110$  г/л – как состояние нормофункции системного кровообращения.

Для расчета минимально допустимой величины  $Ht$  и  $Hb$  мы использовали метод наименьших квадратов и линейное программирование. Для этого искомые величины были обозначены следующим способом:  $Ht - z$ , СИ –  $x_1$ ,  $\Delta S - x_2$ , ИУРлж –  $x_3$ , ИДО<sub>2</sub> –  $x_4$ .

При расчете зависимости

$$z = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4$$

методом наименьших квадратов были получены следующие коэффициенты переменных:

$$a_0 = 9,250213; a_1 = 0,2195560; a_2 = 0,4048034;$$

$$a_3 = 0,1035031; a_4 = 2,831839 \cdot 10^{-3}.$$

А уравнение приобрело вид:

$$z = 9,250213 + 0,2195560x_1 + 0,4048034x_2 + 0,1035031x_3 + 2,831839 \cdot 10^{-3}x_4.$$

При этом коэффициент детерминации  $d=R^2=0,90012$ ; а коэффициент корреляции  $R=0,948747$ . Близость коэффициента корреляции к единице показала, что данная математическая модель достоверно описывает зависимость между параметрами.

Для вычисления минимально допустимых величин  $Ht$  и  $Hb$  мы использовали симплексный метод решения данной задачи линейного программирования, введя следующие ограничения:  $x_1 \geq 3$ ;  $x_2 \geq 32$ ;  $x_3 \geq 27$ ;  $x_4 \geq 400$ .

В результате были получены следующие значения  $z_{\min} = 27,7746$  (для  $Ht$ ) и  $z_{\min} = 89,7583$  (для  $Hb$ ).

Суммируя данные проведенного исследования, следует отметить, что показатели контрактильной способности миокарда, обеспечивающие состояние нормофункции системного кровообращения, определялись при минимальных значениях  $Ht=28\%$  и уровне  $Hb=90$  г/л.

Данные показатели обеспечивали достаточный уровень доставки кислорода миокарду и оптимальный уровень кардиопротекции в исследуемых группах.

## 7. Выводы

На основании анализа функциональных показателей системной гемодинамики и сократимости миокарда, значения  $Ht=28\%$  и уровень  $Hb=90$  г/л, являются минимально допустимыми показателями для кардиохирургических больных в раннем постперфузионном и раннем послеоперационном периодах, при которых обеспечивается адекватная доставка кислорода миокарду.

## Литература

1. Go, A. S. Executive summary: heart disease and stroke statistics – 2013 update: a report from the American Heart Association [Text] / A. S. Go, D. Mozaffarian, V. L. Roger, E. J. Benjamin, J. D. Berry, W. B. Borden et. al. // *Circulation*. – 2013. – Vol. 127, Issue 1. – P. 143–152. doi: 10.1161/cir.0b013e318282ab8f
2. Mozaffarian, D. Heart disease and stroke statistics – 2015 update: a report from the American Heart Association [Text] / D. Mozaffarian, E. J. Benjamin, A. S. Go, D. K. Arnett, M. J. Blaha, M. Cushman et. al. // *Circulation*. – 2014. – Vol. 131, Issue 4. – P. e29–e322. doi: 10.1161/cir.000000000000152
3. Гандзюк, В. А. Аналіз захворюваності на ішемічну хворобу серця в Україні [Текст] / В. А. Гандзюк // *Український кардіологічний журнал*. – 2014. – № 3 – С. 45–52.
4. Устинов, А. В. Кардиохирургия и интервенционная кардиология: проблемы и перспективы развития [Текст] / А. В. Устинов // *Український медичний часопис*. – 2012. – № 1 (87). – С. 8–10.
5. Curley, G. F. Transfusion triggers for guiding RBC transfusion for cardiovascular surgery: a systematic review and meta-analysis [Text] / G. F. Curley, N. Shehata, C. D. Mazer, G. M. T. Hare, J. O. Friedrich // *Critical Care Medicine*. – 2014. – Vol. 42, Issue 12. – P. 2611–2624. doi: 10.1097/ccm.0000000000000548
6. Fakhry, S. M. How low is too low? Cardiac risks with anemia [Text] / S. M. Fakhry, P. Fata // *Critical Care*. – 2004. – Vol. 8, Issue 2. – P. 11–14. doi: 10.1186/cc2845

7. Svenmarker, S. Central venous oxygen saturation during cardiopulmonary bypass predicts 3-year survival [Text] / S. Svenmarker, S. Haggmark, M. Ostman, A. Holmgren, U. Naslund // *Interactive CardioVascular and Thoracic Surgery*. – 2012. – Vol. 16, Issue 1. – P. 21–26. doi: 10.1093/icvts/ivs363

8. Roger, V. L. Heart disease and stroke statistics – 2011 update: A report from the American Heart Association [Text] / V. L. Roger, A. S. Go, D. M. Lloyd-Jones, R. J. Adams, J. D. Berry, T. M. Brown et. al. // *Circulation*. – 2010. – Vol. 123, Issue 4. – P. e18–e209. doi: 10.1161/cir.0b013e3182009701

9. Cabrales, P. Delaying blood transfusion in experimental acute anemia with a perfluorocarbon emulsion [Text] / P. Cabrales, C. J. Briceño // *Anesthesiology*. – 2011. – Vol. 114, Issue 4. – P. 901–911. doi: 10.1097/aln.0b013e31820efb36

10. Haase, M. Effect of mean arterial pressure, haemoglobin and blood transfusion during cardiopulmonary bypass on post-operative acute kidney injury [Text] / M. Haase, R. Bellomo, D. Story, A. Letis, K. Klemz, G. Matalanis et. al // *Nephrology Dialysis Transplantation*. – 2011. – Vol. 27, Issue 1. – P. 153–160. doi: 10.1093/ndt/gfr275

11. Cabrales, P. Isovolemic exchange transfusion with increasing concentrations of low oxygen affinity hemoglobin solution limits oxygen delivery due to vasoconstriction [Text] / P. Cabrales, A. G. Tsai, M. Intaglietta // *AJP: Heart and Circulatory Physiology*. – 2008. – Vol. 295, Issue 5. – P. H2212–H2218. doi: 10.1152/ajpheart.00751.2008

12. Lawler, P. R. Anemia and mortality in acute coronary syndromes: a systematic review and meta-analysis [Text] / P. R. Lawler, K. B. Filion, T. Dourian, R. Atallah, M. Garfinkle, M. J. Eisenberg // *American Heart Journal*. – 2013. – Vol. 165, Issue 2. – P. 143–153.e5. doi: 10.1016/j.ahj.2012.10.024

## References

1. Go, A. S., Mozaffarian, D., Roger, V. L., Benjamin, E. J., Berry, J. D., Borden, W. B. et. al. (2013). Executive Summary: Heart Disease and Stroke Statistics – 2013 Update: A Report From the American Heart Association. *Circulation*, 127 (1), 143–152. doi: 10.1161/cir.0b013e318282ab8f

2. Mozaffarian, D., Benjamin, E. J., Go, A. S., Arnett, D. K., Blaha, M. J., Cushman, M. et. al. (2014). Heart disease and stroke statistics – 2015 update: a report from the American Heart Association. *Circulation*, 131 (4), e29–e322. doi: 10.1161/cir.0000000000000152

3. Gadzyk, V. A. (2014). Analiz zahvoryvanosti na ishemichny hvoroby sercay v Ukraine [Analysis of the incidence of

coronary heart disease in Ukraine]. *Ukrainian Journal of Cardiology*, 3, 45–52.

4. Ystinov, A. V. (2012). Kardioxirygiy I intervencionnay kardiologiy: problem I perspektivi razvityi [Cardiac Surgery and Interventional Cardiology: Problems and Prospects]. *Ukrainian Medical Journal*, 1, 8–10.

5. Curley, G. F., Shehata, N., Mazer, C. D., Hare, G. M., Friedrich, J. O. (2014). Transfusion triggers for guiding RBC transfusion for cardiovascular surgery: a systematic review and meta-analysis. *Critical Care Medicine*, 42 (12), 2611–2624. doi: 10.1097/ccm.0000000000000548

6. Fakhry, S. M., Fata, P. (2004). How low is too low? Cardiac risks with anemia. *Critical Care*, 8 (2), 11–14. doi: 10.1186/cc2845

7. Svenmarker, S., Haggmark, S., Ostman, M., Holmgren, A., Naslund, U. (2012). Central venous oxygen saturation during cardiopulmonary bypass predicts 3-year survival. *Interactive CardioVascular and Thoracic Surgery*, 16 (1), 21–26. doi: 10.1093/icvts/ivs363

8. Roger, V. L., Go, A. S., Lloyd-Jones, D. M., Adams, R. J., Berry, J. D., Brown, T. M. et. al. (2010). Heart disease and stroke statistics – 2011 update: A report from the American Heart Association. *Circulation*, 123 (4), e18–e209. doi: 10.1161/cir.0b013e3182009701

9. Cabrales, P., Briceño, J. C. (2011). Delaying blood transfusion in experimental acute anemia with a perfluorocarbon emulsion. *Anesthesiology*, 114 (4), 901–911. doi: 10.1097/aln.0b013e31820efb36

10. Haase, M., Bellomo, R., Story, D., Letis, A., Klemz, K., Matalanis, G. et. al (2011). Effect of mean arterial pressure, haemoglobin and blood transfusion during cardiopulmonary bypass on post-operative acute kidney injury. *Nephrology Dialysis Transplantation*, 27 (1), 153–160. doi: 10.1093/ndt/gfr275

11. Cabrales, P., Tsai, A. G., Intaglietta, M. (2008). Isovolemic exchange transfusion with increasing concentrations of low oxygen affinity hemoglobin solution limits oxygen delivery due to vasoconstriction. *AJP: Heart and Circulatory Physiology*, 295 (5), H2212–H2218. doi: 10.1152/ajpheart.00751.2008

12. Lawler, P. R., Filion, K. B., Dourian, T., Atallah, R., Garfinkle, M., Eisenberg, M. J. (2013). Anemia and mortality in acute coronary syndromes: a systematic review and meta-analysis. *American Heart Journal*, 165 (2), 143–153.e5. doi: 10.1016/j.ahj.2012.10.024

*Дата надходження рукопису 17.09.2015*

**Лоскутов Олег Анатольевич**, доктор медицинских наук, старший научный сотрудник, профессор, кафедры «Анестезиологии и интенсивной терапии», НМАПО им. П. Л. Шупика, ул. Дорогожицкая, 9, г. Киев, Украина, 04112

E-mail: doclosh@mail.ru