

DOI: <https://doi.org/10.51922/2616-633X.2025.9.1.2459>

«ВАБК ИЛИ НЕ ВАБК?» – ВОТ В ЧЕМ ВОПРОС. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДА МЕХАНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ КРОВООБРАЩЕНИЯ У ПАЦИЕНТОВ С ПОСТКАРДИОТОМНЫМ ШОКОМ

Р. Г. Ярош, Л. Г. Шестакова, Ю. П. Островский

ГУ «Республиканский научно-практический центр «Кардиология», г. Минск
doc_pomka@mail.ru

УДК 616-085:612.12-008.46

Ключевые слова: кардиохирургия, внутриаортальная баллонная контрапульсация, посткардиотомный шок, экстракорпоральная мембранная оксигенация.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ. Р. Г. Ярош, Л. Г. Шестакова, Ю. П. Островский. «Вабк или не вабк?» – вот в чем вопрос. Прогнозирование оптимального метода механической поддержки кровообращения у пациентов с посткардиотомным шоком. *Неотложная кардиология и кардиоваскулярные риски*, 2025, Т. 9, № 1, С. 2459–2466.

Цель. Определить критерии выбора оптимального метода механической поддержки кровообращения (МПК): внутриаортальной баллонной контрапульсации (ВАБК) или экстракорпоральной мембранной оксигенации (ЭКМО), необходимой для пациентов с посткардиотомным шоком.

Методы. Проведено ретроспективное исследование в Республиканском научно-практическом центре «Кардиология» за 2012–2020 гг. Критериями включения в исследование были пациенты в возрасте 18–80 лет, перенесшие операцию на сердце в условиях искусственного кровообращения (ИК), у которых интраоперационно развился посткардиотомный шок, рефрактерный к медикаментозной терапии. В связи с невозможностью отлучения пациента от ИК потребовалось подключение МПК. Были отобраны пациенты, которым проводилась ЭКМО (n = 28) и успешно выписавшиеся из стационара. Методом псевдорандомизации на основании алгоритма «ближайшего соседа» (kNN – Nearest Neighbours), в пропорции 1:1 были подобраны выжившие пациенты с ВАБК (n = 28). Таким образом, в исследование было включено 56 пациентов. На основе анализа логистической регрессии были определены критерии выбора оптимального метода МПК. Интенсивность инотропной и вазопрессорной поддержки (ВИП) определялась в баллах (Vasoactive Intopore Score), на основании следующей формулы: ВИП (баллы) = добутамин (мкг/кг/мин) + допамин (мкг/кг/мин) + 100 × норэпинефрин (мкг/кг/мин) + 100 × эпинефрин (мкг/кг/мин) + 10 × милринон (мкг/кг/мин) + 10,000 × вазопрессин (ед/кг/мин) + 50 × левосимендан (мкг/кг/мин) [1].

Результаты. Были определены критерии определяющие необходимость подключения ЭКМО: клиника отека легких ОШ = 23,4 [95% ДИ 4,52 – 119,7], p = 0,001; лактат артериальной крови > 4 ммоль/л (Sn = 68%, Sp = 68%), ОШ = 7,7 [95% ДИ 2,32 – 25,74], p = 0,001; кислотность крови pH < 7,34 (Sn = 66,3%, Sp = 66,4%), ОШ = 3,8 [95% ДИ 1,25 – 11,55], p = 0,031; дефицит оснований BE > -4,3 (Sn = 75%, Sp = 70,4%), ОШ = 7,15 [95% ДИ 2,16 – 23,42], p = 0,001, вазоактивная и инотропная поддержка более 35 (Sn = 57,1%, Sp = 75%) баллов ОШ = 4,45 [95% ДИ 1,45 – 13,68], p = 0,015. Разработана прогностическая модель определения оптимальной МПК на основании сатурации артериальной крови, значения лактата крови, длительность ИК, значения вазоактивной и инотропной поддержки.

Заключение. Посткардиотомный шок является тяжелым осложнением в кардиохирургии и характеризуется высокой госпитальной летальностью ввиду развития синдрома полиорганной недостаточности. Применение инотропных и вазопрессорных препаратов обеспечивает лишь временное улучшение показателей гемодинамики, в то время как увеличение их дозировки вызывает развитие лактат-ацидоза, который влечет за собой ослабление эффективности катехоламинов и приводит к еще большей эскалации фармакологической поддержки. Своевременное подключение необходимого варианта МПК на основании разработанной модели позволит рационально использовать ресурсы кардиохирургических центров, снизить частоту развития полиорганной недостаточности и госпитальной летальности.

«IABP OR NOT IABP?» – THAT IS THE QUESTION. PREDICTING THE OPTIMAL METHOD OF MECHANICAL CIRCULATORY SUPPORT IN PATIENTS WITH POSTCARDIOTOMY SHOCK

R. Yarosh, L. Shestakova, Y. Ostrovsky

Scientific and Practical Center "Cardiology", Minsk

Key words: cardiac surgery, intra-aortic balloon counterpulsation, postcardiotomy shock, extracorporeal membrane oxygenation.

FOR REFERENCES. R. Yarosh, L. Shestakova, Y. Ostrovsky. «Iabp or not iabp?» – that is the question. Predicting the optimal method of mechanical circulatory support in patients with postcardiotomy shock. *Neotlozhnaya kardiologiya i kardiovaskulyarnye riski* [Emergency cardiology and cardiovascular risks], 2025, vol. 9, no. 1, pp. 2459–2466.

Aim. To determine the criteria for selecting the optimal method of mechanical circulatory support (MCS): intra-aortic balloon pump (IABP) or extracorporeal membrane oxygenation (ECMO), needed for patients with post-cardiotomy shock.

Methods. A retrospective study was conducted at the Republican Scientific and Practical Center "Cardiology" for the period 2012–2020. Inclusion criteria for the study were patients aged 18–80 years who underwent heart surgery under cardiopulmonary bypass (CPB), and who have intraoperatively developed post-cardiotomy shock refractory to drug therapy. As it was impossible to disconnect the patient from CPB, the use of mechanical circulatory support (MCS) was required. The patients selected were those who underwent ECMO (n = 28) and were successfully discharged from the hospital. Using the pseudorandomization method based on "the nearest neighbour" algorithm (kNN – Nearest Neighbours), in a 1:1 ratio the surviving patients with IABP (n = 28) were selected. Thus, 56 patients were included in the study. Based on the analysis of logistic regression, the criteria for choosing the optimal MCS method were determined. The intensity of inotropic and vasopressor therapy was determined in points (Vasoactive Inotrope Score), based on the following formula: VIS (points) = dobutamine (mcg/kg/min) + dopamine (mcg/kg/min) + 100 × norepinephrine (mcg/kg/min) + 100 × epinephrine (mcg/kg/min) + 10 × milrinone (mcg/kg/min) + 10,000 × vasopressin (units/kg/min) + 50 × levosimendan (mcg/kg/min) [1].

Results. The criteria determining the need for ECMO were defined: clinical presentation of pulmonary edema OR = 23,4 [95% CI 4,52 – 119,7], p = 0.001; arterial blood lactate > 4 mmol/L (Sn = 68%, Sp = 68%), OR = 7,7 [95% CI 2,32 – 25,74], p = 0.001; pH < 7,34 (Sn = 66,3%, Sp = 66,4%), OR = 3,8 [95% CI 1,25 – 11,55], p = 0,031; BE > –4,3 (Sn = 75%, Sp = 70,4%), OR = 7,15 [95% CI 2,16 – 23,42], p = 0,001; vasoactive and inotropic support more than 35 points (Sn = 57,1%, Sp = 75%), OR = 4,45 [95% CI 1,45 – 13,68], p = 0,015. A prognostic model was developed to determine the optimal MCS based on arterial blood saturation, blood lactate values, the duration of CPB, and the values of vasoactive and inotropic support.

Conclusion. Postcardiotomy shock is a severe complication in cardiac surgery characterized by high in-hospital mortality due to the development of multiple organ failure syndrome. The use of inotropic and vasopressor drugs leads to temporary hemodynamic improvement. Increasing vasoactive support causes lactate acidosis, which entails a weakening of the catecholamines effectiveness and leads to greater escalation of pharmacological support. Timely connection of the necessary MCS option based on the developed model will make it possible to efficiently use the resources of cardiac surgery centers, reduce the incidence of multiple organ failure and in-hospital mortality.

Введение

Длительное время посткардиотомный шок (ПКШ) в литературе встречался в виде следующих определений: послеоперационная дисфункция миокарда, послеоперационная сердечно-сосудистая недостаточность, острая сердечно-сосудистая дисфункция, послеоперационная сердечная недостаточность и посткардиотомный синдром малого сердечного выброса [2]. Исследователи нередко использовали эти определения как взаимозаменяемые понятия [3]. Согласно клинической характеристики ПКШ – это выраженное нарушение систолической и/или диастолической функции сердца, приводящее к снижению доставки кислорода и тканевой гипоксии [4]. Частота развития его после операций в условиях искусственного кровообращения составляет от 2% до 27% [5–8] и характеризуется высокой летальностью – до 62,5% в связи с развитием полиорганной недостаточности [3]. Отсутствие четких критериев определения ПКШ привело к появлению трудностей систематического анализа данного кардиохирургического осложнения. Только в 2021 году на основании консенсуса экспертов Европейской ассоциации кардио-торакальных хирургов (EACTS), общества экстракорпоральной поддержки жизни (ELSO), общества торакальных хирургов (STS) и Американской ассоциации торакальных хирургов (AATS) было выделено понятие посткардиотомный шок, под которой принято понимать отсутствие возможности отлучения пациента от искусственного кровообращения или наличие клиники стойкого кардиогенного шока после кардиохирургической операции, несмотря на использование максимальных доз инотропной и вазопрессорной терапии [9].

Применение инотропных препаратов и подключение внутриаортальной баллонной

контрапульсации (ВАБК) являются методами выбора в лечении ПКШ. Однако, после проведения исследования IABP-SHOCK II, которое часто приводится в качестве доказательства неэффективности ВАБК у пациентов с кардиогенным шоком (КШ), несмотря на серьезную критику со стороны многих исследователей [10], частота использования внутриаортальных контрапульсаторов во многих европейских центрах снизилась более чем в 2 раза [11]. Появление принципиально новых методов механической поддержки кровообращения (МПК), таких как экстракорпоральная мембранная оксигенация (ЭКМО) или внутрисосудистого микроаксиального насоса (Impella), к сожалению, не повлияло на снижение госпитальной летальности пациентов с ПКШ, однако было связано с ростом специфических осложнений [12]. Учитывая существенную разницу в стоимости ВАБК по сравнению с другими системами поддержки кровообращения, выбор оптимального варианта МПК является актуальным вопросом для многих кардиохирургических центров.

Цель. Определить критерии выбора оптимального метода механической поддержки кровообращения: внутриаортальной баллонной контрапульсации или экстракорпоральной мембранной оксигенации, необходимой для пациентов с посткардиотомным шоком.

Методы

Проведено ретроспективное исследование в Республиканском научно-практическом центре «Кардиология» за 2012–2020 гг. Критериями включения в исследование были пациенты в возрасте 18–80 лет, перенесших операцию на сердце в условиях искусственного кровообращения (ИК), у которых интраоперационно развился посткардиотомный шок, рефрактерный к медикаментозной терапии. В связи с невозможностью отлуче-

ния пациента от ИК потребовалось подключение МПК. Были отобраны пациенты, которым проводилась ЭКМО (n = 28) и успешно выписавшиеся из стационара. Методом псевдорандомизации на основании алгоритма «ближайшего соседа» (kNN – Nearest Neighbours), в пропорции 1:1 были подобраны выжившие пациенты с ВАБК (n = 28). Таким образом, в исследование было включено 56 пациентов. С помощью логистической регрессии были определены критерии выбора оптимального метода МПК. Согласно консенсусу экспертов Европейской ассоциации кардио-торакальных хирургов (EACTS), общества экстракорпоральной поддержки жизни (ELSO), общества торакальных хирургов (STS) и Американской ассоциации торакальных хирургов (AATS), под понятием посткардиотомный шок принято понимать отсутствие возможности отлучения пациента от искусственного кровообращения или наличие клиники стойкого кардиогенного шока после кардиохирургической операции, несмотря на использование максимальных доз инотропной и вазопрессорной терапии [9].

Интенсивность инотропной и вазопрессорной поддержки определялась в баллах (Vasoactive Inotrope Score), на основании следующей формулы: ВИП (баллы) = добутамин (мкг/кг/мин) + допамин (мкг/кг/мин) + 100 × норэпинефрин (мкг/кг/мин) + 100 × эпинефрин (мкг/кг/мин) + 10 × милринон (мкг/кг/мин) + 10,000 × вазопрессин (ед/кг/мин) + 50 × левосимендан (мкг/кг/мин) [1].

Анализ данных был выполнен с помощью программ STATISTICA (StatSoft Inc., США, версия 6.5), IBM SPSS Statistics (IBM Company, версия 23), MedCalc (MedCalc Software, версия 20) и Microsoft Office Excel 2016. Непараметрический анализ количественных переменных производился с помощью критерия Манна-Уитни (Mann-Whitney U test), для качественных признаков – Хи-квадрат. Взаимосвязь между количественными переменными определялась на основании корреляционного анализа с использованием коэффициента корреляции r-Пирсона. Достоверным считали различия с $p < 0,05$ (5%).

Результаты

В РНПЦ «Кардиология» за 2012–2020 гг. проведен сравнительный анализ пациентов, которым, в связи с развитием ПКШ и отсутствием возможности отлучения от искусственного кровообращения после основного этапа операции, несмотря на высокие дозы вазопрессорных и инотропных препаратов, потребовалось интраоперационно подключение МПК. В исследование были включены пациенты, успешно отлученные от ЭКМО (n = 28) и подобранные к ним методом псевдорандомизации пациенты с (ВАБК), n = 28. Группы пациентов были уравнены на основании алгоритма «ближайшего соседа» в пропорции 1:1 по полу, возрасту и коморбидным состояниям, таблица 1.

Параметр	ВАБК	ЭКМО	p-value
Количество наблюдений	28	28	–
Пол (ж)	7 (25%)	4 (14,3%)	0,313
Возраст	62 [53,5; 68,8]	62 [54; 66]	0,29
S, поверхности тела	1,93 [1,79; 2,09]	2,0 [1,89; 2,16]	0,21
Артериальная гипертензия	19 (67,9%)	20 (71,4%)	0,77
Сахарный диабет	8 (28,6%)	5 (17,9%)	0,34
Хроническая болезнь почек	8 (28,6%)	9 (32,1%)	0,77
Легочная гипертензия	8 (28,6%)	10 (35,7%)	0,75
Операция в течении 30 дн. от ОИМ	6 (21,4%)	2 (7,1%)	0,252
Повторные операции на сердце	1 (3,6%)	6 (21,4%)	0,101
Класс по NYHA III/IV	18 (69,2%)	20 (76,9%)	0,71

Примечание: NYHA – класс хронической сердечной недостаточности, S – площадь поверхности тела, ОИМ – острый инфаркт миокарда, ВАБК – внутриаортальная баллонная контрапульсация, ЭКМО – экстракорпоральная мембранная оксигенация.

Indicator	IABP	ECMO	p-value
Number of observations	28	28	–
Sex	7 (25%)	4 (14.3%)	0.313
Age	62 [53.5; 68.8]	62 [54; 66]	0.29
S	1.93 [1.79; 2.09]	2.0 [1.89; 2.16]	0.21
Arterial hypertension	19 (67.9%)	20 (71.4%)	0.77
Diabetes mellitus	8 (28.6%)	5 (17.9%)	0.34
Chronic kidney disease	8 (28.6%)	9 (32.1%)	0.77
Pulmonary hypertension	8 (28.6%)	10 (35.7%)	0.75
AMI 30 day	6 (21.4%)	2 (7.1%)	0.252
Reoperation	1 (3.6%)	6 (21.4%)	0.101
NYHA III/IV	18 (69.2%)	20 (76.9%)	0.71

Note: NYHA – Chronic Heart Failure Class, S – body surface area, AMI – acute myocardial infarction, IABP – intra-aortic balloon pump, ECMO – extracorporeal membrane oxygenation.

Таблица 1. Клинико-демографическая характеристика групп

Table 1. Clinical and demographic characteristics of groups

В связи с развитием ПКШ, механическая поддержка кровообращения потребовалась преимущественно после комбинированной операции аортокоронарного шунтирования (АКШ) совместно с пластикой/протезированием клапанов сердца – в группе ВАБК 57,1% и 64,3% в группе ЭКМО. Отмечается тенденция более частого использования ВАБК после операций реваскуляризации миокарда (25% против 7,14%), однако достоверной разницы получено не было, $p = 0,143$. Установлено, что тип хирургического вмешательства не оказывал воздействия на выбор МПК у пациентов с ПКШ.

Согласно результатам интраоперационного анализа в группе пациентов с ЭКМО по сравнению с ВАБК наблюдалось достоверно выше длительность искусственного кровообращения 240 [195; 335] минут против 161 [113; 181], $p = 0,001$ и время ишемии миокарда 146 [103; 177] против 97 [70; 122], $p = 0,002$. Кроме того, для стабилизации гемодинамики до подключения ЭКМО потребовалась существенно больше инотропных и вазопресорных препаратов 38,8 [25,6; 64,5] баллов по сравнению с ВАБК 27 [17,9; 38,8] баллов, $p = 0,009$ (таблица 2). На основании корреляционного анализа выявлена сильная положительная связь между значением ВИП и уровнем лактата крови (r -Пирсона = 0,341, $p = 0,01$), а также сильной обратной связью между значением дозы инотропных препа-

ратов с кислотно-основным состоянием артериальной крови (r -Пирсона = -0,536, $p = 0,001$) и дефицитом оснований (r -Пирсона = -0,488, $p = 0,001$). Была выявлена достоверная разница между группами по уровню лактата крови, дефицита оснований и кислотности крови. В группе пациентов, находящихся на ЭКМО, наблюдалась клиническая картина характерная для лактат-ацидоза, связанного с увеличением инотропной поддержки. В то время как пациенты на ВАБК имели показатели кислотно-основного состояния (КОС) близкие к референтным значениям.

По данным результатов биохимического исследования, к концу первых суток наблюдения в группе пациентов на ЭКМО было выявлено достоверное увеличение печеночных трансаминаз, повышение уровня азотистых оснований, билирубина и снижение общего белка (таблица 3). Кроме того, мощность вазоактивной инотропной поддержки (ВИП) до подключения МПК имело прямую положительную связь со значением мочевины ($r = 0,276$, $p = 0,041$) и креатинина ($r = 0,280$, $p = 0,039$). В тоже время, обнаружена положительная прямая связь между значением лактата крови и ростом аспаратаминотрансферазы ($r = 0,493$, $p = 0,001$), аланинаминотрансферазы ($r = 0,326$, $p = 0,016$), креатинкиназы ($r = 0,485$, $p = 0,001$) и лактатдегидрогеназы ($r = 0,275$, $p = 0,048$).

Таблица 2.
Интраоперационная характеристика групп до подключения МПК

Показатель	ВАБК	ЭКМО	p-значение
ВИК, минут	161 [113; 181]	240 [195; 335]	0,001
ВИМ, минут	97 [70; 122]	146 [103; 177]	0,002
ВИП, балл	27 [17,9; 38,8]	38,8 [25,6; 64,5]	0,009
pH	7,37 [7,34; 7,4]	7,29 [7,13; 7,38]	0,015
BE, ммоль/л	-2,5 [-5; -1,2]	-5,75 [-12,5; -3,75]	0,001
Hb, г/л	98 [88; 111]	106 [88; 114,5]	0,320
Лактат, ммоль/л	2,5 [2,02; 5,37]	6,25 [3,63; 8,93]	0,001
SpO ₂	98,6 [95,4; 99]	94,5 [85,8; 99,1]	0,055
ФВ до МПК	29 [27; 33]	32 [30; 39]	0,015
СЛР до МПК	1 (3,6%)	6 (21,4%)	0,051
Отек легких/гипоксия	2 (7,1%)	18 (64,3%)	0,001

Примечание: ВИК – время искусственного кровообращения, ВИМ – время ишемии миокарда, ВИП – вазоактивная инотропная поддержка, МПК – механическая поддержка кровообращения, ФВ – фракция выброса, СЛР – сердечно-легочная реанимация, ВАБК – внутриаортальная баллонная контрапульсация, ЭКМО – экстракорпоральная мембранная оксигенация.

Table 2.
Intraoperative characteristics of the groups before MCS initiation

Indicator	IABP	ECMO	p-value
CPB time, min	161 [113; 181]	240 [195; 335]	0,001
ACC time, min	97 [70; 122]	146 [103; 177]	0,002
VIS, point	27 [17,9; 38,8]	38,8 [25,6; 64,5]	0,009
pH	7,37 [7,34; 7,4]	7,29 [7,13; 7,38]	0,015
BE, mmol/l	-2,5 [-5; -1,2]	-5,75 [-12,5; -3,75]	0,001
Hb, g/l	98 [88; 111]	106 [88; 114,5]	0,320
Lactate, mmol/l	2,5 [2,02; 5,37]	6,25 [3,63; 8,93]	0,001
SpO ₂	98,6 [95,4; 99]	94,5 [85,8; 99,1]	0,055
EF before MCS	29 [27; 33]	32 [30; 39]	0,015
CPR before MCS	1 (3,6%)	6 (21,4%)	0,051
Pulmonary edema /Hypoxemia	2 (7,1%)	18 (64,3%)	0,001

Note: CPB time – cardiopulmonary bypass time, ACC time – aortic cross clamp time, VIS – vasoactive inotrope score, MCS – mechanical circulatory support, EF – ejection fraction, CPR – cardiopulmonary resuscitation, IABP – intra-aortic balloon pump, ECMO – extracorporeal membrane oxygenation.

Показатель	ВАБК	ЭКМО	p-value
AST 24 ч	117 [78; 225]	190 [115,8; 324,8]	0,024
ALT 24 ч	29 [14,6; 63,6]	42 [30,8; 82,3]	0,026
CK 24 ч	2166 [998; 3892]	4884 [2327; 8613]	0,004
LDG 24 ч	566,9 [474,4; 788]	985,9 [669,5; 1418]	0,001
Urea 24 ч	9,45 [6,6; 14,6]	12,21 [0,6; 17,5]	0,027
Crea 24 ч	118,2 [97,6; 143,8]	145,9 [119,7; 240]	0,015
Tbil 24 ч	14,6 [10,3; 31,8]	31,2 [21,5; 51]	0,001
TP 24 ч	53,1 [49,9; 54,7]	49,6 [47,1; 53,1]	0,046

Примечание: МПК – механическая поддержка кровообращения, AST – аспартатаминотрансфераза, ALT – аланинаминотрансфераза, CK – креатинкиназа, LDG – лактатдегидрогеназа, Urea – мочевины, Crea – креатинин, Tbil – общий билирубин, TP – общий белок, ВАБК – внутриаортальная баллонная контрапульсация, ЭКМО – экстракорпоральная мембранная оксигенация.

Indicator	IABP	ECMO	p-value
AST 24h	117 [78; 225]	190 [115.8; 324.8]	0.024
ALT 24h	29 [14.6; 63.6]	42 [30.8; 82.3]	0.026
CK 24h	2166 [998; 3892]	4884 [2327; 8613]	0.004
LDG 24h	566.9 [474.4; 788]	985.9 [669.5; 1418]	0.001
Urea 24h	9.45 [6.6; 14.6]	12.21 [0.6; 17.5]	0.027
Crea 24h	118.2 [97.6; 143.8]	145.9 [119.7; 240]	0.015
Tbil 24h	14.6 [10.3; 31.8]	31.2 [21.5; 51]	0.001
TP 24h	53.1 [49.9; 54.7]	49.6 [47.1; 53.1]	0.046

Note: MCS – mechanical circulatory support, AST – aspartate aminotransferase, ALT – alanine aminotransferase, CK – creatine kinase, LDG – lactate dehydrogenase, Crea – creatinine, Tbil – total bilirubin, TP – total protein, IABP – intra-aortic balloon pump, ECMO – extracorporeal membrane oxygenation.

Согласно интраоперационного эхокардиографического (ЭХО-КГ) исследования, значение фракции выброса левого желудочка (ФВ ЛЖ) до подключения МПК было статистически значимо ниже в группе с ВАБК, чем в группе с ЭКМО: Ме 29 [27; 33] и 32 [30; 39] соответственно, $p = 0,015$. С клинической точки зрения данная разница не имеет существенного значения, а результаты исследования свидетельствуют о наличии систолической дисфункции в обеих группах (ФВ ЛЖ < 40% 92,9% против 76,0%, $p = 0,139$). С другой стороны, в 64,3% процедур ЭКМО было обусловлено не только потребностью в поддержании гемодинамики, но и необходимостью обеспечения респираторной функции. Это было связано с развитием кардиогенного отека легких, который проявлялся выделением пенистой жидкости из трахеобронхиального дерева и повышением давления в левом

предсердии, либо в связи с выраженной гипоксемией, вызванной острым респираторным дистресс-синдромом (ОРДС).

На основании унивариантного анализа были выявлены критерии подключения ЭКМО: клиника отека легких ОШ = 23,4 [95% ДИ 4,52 – 119,7], $p = 0,001$; лактат артериальной крови > 4 ммоль/л (Sn = 68%, Sp = 68%), ОШ = 4,45 [95% ДИ 1,45 – 13,68], $p = 0,015$; вазоактивная и инотропная поддержка более 35 (Sn = 57,1%, Sp = 75%) баллов ОШ = 4,45 [95% ДИ 1,45 – 13,68], $p = 0,015$; кислотность крови pH < 7,34 (Sn = 66,3%, Sp = 66,4%), ОШ = 3,8 [95% ДИ 1,25 – 11,55], $p = 0,031$; дефицит оснований BE > -4,3 (Sn = 75%, Sp = 70,4%), ОШ = 7,15 [95% ДИ 2,16 – 23,42], $p = 0,001$. Однако, в конечную модель логистической регрессии вошли следующие предикторы (таблица 4): сатурация артериальной крови, лактат крови, длительность ИК, значение

Таблица 3. Результаты биохимического исследования на 1 сутки работы МПК

Table 3. Results of biochemical examination on the 1st day of MCS use

Предиктор	B	Вальд	Значимость	Exp(B)	95% ДИ для EXP(B)	
					Низкий	Высокий
Лактат (100–SpO ₂)	0,339	5,092	0,024	1,404	1,046	1,885
ВИК×ВИП/1000	0,270	4,396	0,036	1,310	1,018	1,687
Константа	–4,446	11,887	0,001	0,012	–	–

Примечание: МПК – механическая поддержка кровообращения, ВИП – вазоактивная инотропная поддержка, ВИК – время искусственного кровообращения.

Predictor	B	Wald	p-value	Exp(B)	95% CI for EXP(B)	
					Low	High
Lactate (100–SpO ₂)	0.339	5.092	0.024	1.404	1.046	1.885
CPB×VIS/1000	0.270	4.396	0.036	1.310	1.018	1.687
Constant	–4.446	11.887	0.001	0.012	–	–

Note: MCS – mechanical circulatory support, VIS – vasoactive inotropic support, CPB time – cardiopulmonary bypass time.

Таблица 4. Критерии выбора подключения МПК

Table 4. Criteria for choosing an MCS option

вазоактивной и инотропной поддержки до подключения МПК. Поскольку часть критериев имели прямую связь между друг другом, для устранения коллинеарности они были определены в качестве комбинированной переменной.

Качество регрессионного анализа проверено при помощи коэффициента 2 Log-правдоподобия 42,2 и R-квадрат Нейджелкерка – 0,615, при этом 83,6% случаев было распознано правильно.

Таким образом, прогностическая модель выбора механической поддержки кровообращения может быть представлена в следующем виде:

$$P = \frac{1}{1 + e^{-Z}} 100,$$

где $Z = 0,339 \times \text{Лактат} + 0,270 \times (100 - \text{SpO}_2) + 0,231 \times \text{ВИП} \times \text{ВИК}/1000 - 4,446$

P – вероятность наступления события,

SpO_2 – значение сатурации крови в %,

Лактат – значение лактата артериальной крови, ммоль/л,

ВИК – время искусственного кровообращения, мин,

ВИП – вазоактивная инотропная поддержка, балл.

Модель логистической регрессии была проверена при помощи ROC – анализа. Площадь под кривой составила $\text{AUC} = 0,911$ (95% ДИ 0,803 – 0,971), $p = 0,001$ (рисунок 1). Пороговым значением cut-off стала точка равная 0,48 ($\text{Sn} 85,7\%$; $\text{Sp} 85,2\%$), значение выше которого свидетельствует о необходимости подключения ЭКМО.

Обсуждение

Посткардиотомный шок представляет собой серьезное осложнение в кардиохирург-

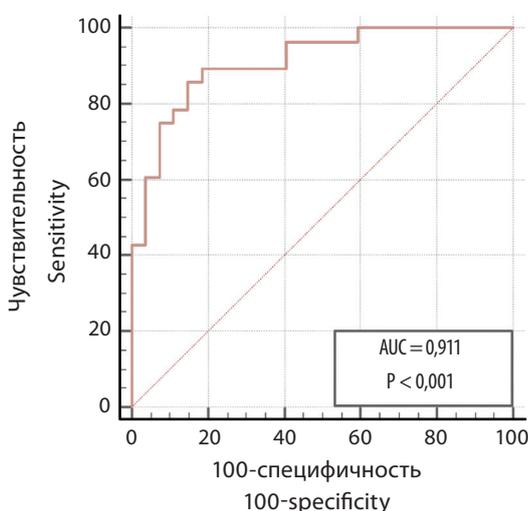


Рисунок 1.
ROC-анализ.
Проверка качества
модели

Figure 1.
ROC analysis.
Checking the quality
of the model

гии. В связи со снижением сердечного выброса и доставки кислорода возникает кислородный дефицит и тканевая гипоперфузия, что приводит к ишемическим изменениям, нарушению функции органов и, в конечном итоге, развитию полиорганной недостаточности [13]. Для оптимизации гемодинамики в первую очередь используются инотропные и вазопрессорные препараты. Однако, несмотря на их большое разнообразие, выбор конкретного препарата является все еще спорным вопросом в лечении посткардиотомного шока, поскольку решение одной гемодинамической задачи достижения целевого среднего артериального давления (АД) происходит в основном в ущерб другой (усиление постнагрузки левого желудочка (ЛЖ)) и повышение общего периферического сопротивления сосудов (ОПСС), увеличение напряжения стенок миокарда и ишемии миокарда [14]. В большинстве случаев, тактика лечения основывается на рекомендациях и клиническом опыте специалистов, поскольку до настоящего времени не было найдено убедительных данных, подтверждающих эффективность какой-либо специфической комбинации, влияющей на снижение смертности у гемодинамически нестабильных пациентов с КШ [3]. В связи с положительным инотропным и хронотропным действием, катехоламины могут обеспечить кратковременное улучшение гемодинамических показателей и способствовать более быстрому отлучению от искусственного кровообращения. Однако, за счет стимуляции β_2 – адренорецепторов увеличивается гликолиз и гликолиз с образованием пирувата и лактата [15, 16], избыточная продукция которого способствует формированию инсулинорезистентности [17], а ввиду того, что инсулин является стимулятором пируватдегидрогеназы, инсулинорезистентность в послеоперационном периоде приводит к гиперлактатемии [18]. Развитие лактат-ацидоза, в свою очередь, приводит к блокаде адренергических рецепторов и снижению эффективности инотропных и вазопрессорных препаратов [19], что вызывает необходимость увеличивать дозы препаратов и способствует усугублению полиорганной дисфункции [20].

В случае развития ПКШ механическая поддержка кровообращения может быть использована как мост к принятию решения, выздоровлению или трансплантации сердца. Несмотря на большой опыт применения ВАБК накопленный во всем мире (с 1968 г.), вопрос об его эффективности, особенно в контексте целесообразности использования при развитии кардиогенного шока, является предметом продолжающихся исследований и дискуссий. До 2012 года, основываясь на рекомендациях Американского Колледжа

Кардиологии и Ассоциации Сердца, предполагалось применение внутриартериальной баллонной контрпульсации (ВАБК) у пациентов с кардиогенным шоком, если быстрая стабилизация гемодинамики не достигалась посредством инотропной и вазопрессорной поддержки (IIa класс, доказательность В) [21]. Однако, в 2018 году произошёл пересмотр рекомендаций, и от рутинного использования ВАБК у пациентов с кардиогенным шоком было решено отказаться (III класс, В) [22]. Такой сдвиг парадигмы использования ВАБК обусловлен результатами исследования IABP-SHOCK II, в котором было выявлено, что госпитальная летальность у пациентов с острым инфарктом миокарда (ОИМ), осложненным КШ, в группе с ВАБК и в группе без него достоверно не различалась (39,7% против 41,3% соответственно, $p = 0,69$) [23]. Однако, результаты этого исследования подверглись серьезной критике со стороны многих специалистов и в ходе детального анализа был выявлен ряд несоответствий рандомизированному исследованию [10]. Несмотря на вышеперечисленные замечания, исследование IABP-SHOCK II часто приводится в качестве доказательства неэффективности ВАБК у пациентов с КШ и привело к существенному сокращению использования этого варианта МПК. А отсутствие четких рекомендаций, оставляет возможность принимать решение о необходимости подключения МПК за кардиохирургической командой и на основании принятой в центре стратегии [24].

Полученные данные в ходе нашего исследования показали, что интенсивность инотропной терапии, длительное искусственное кровообращение, отек легких, гипоксемия и лактат-ацидоз являются основными критериями влияющими на выбор МПК. Кроме того, повышение доз фармакологической поддержки до подключения МПК с целью стабилизации гемодинамики было связано с увеличением азотистых оснований, усугублением лактат-ацидоза и повышением печеночных трансфераз.

Заключение

Посткардиотомный шок является тяжелым осложнением в кардиохирургии и характеризуется высокой госпитальной летальностью ввиду развития синдрома полиорганной недостаточности. Применение инотропных и вазопрессорных препаратов обеспечивает лишь временное улучшение показателей гемодинамики, в то время как увеличение их дозировки вызывает развитие лактат-ацидоза, который влечет за собой ослабление эффективности катехоламинов и приводит к еще большей эскалации фармакологической поддержки. Своевременное подключение необходимого варианта МПК на основании разработанной модели позволит рационально использовать ресурсы кардиохирургических центров, снизить частоту развития полиорганной недостаточности и госпитальной летальности.

REFERENCES

- Favia L, Vitale V, Ricci Z. The vasoactive-inotropic score and levosimendan: Time for LVIS? *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth*, 2013, vol. 27, pp. e15–e16. doi: 10.1053/j.jvca.2012.11.009.
- Pérez Vela J.L., Martín Benitez J.C., Gonzalez M.C. et al. Summary of the consensus document: "Clinical practice guide for the management of low cardiac output syndrome in the postoperative period of heart surgery" *Med Intensiva*, 2012, vol. 36(4), pp. 277–287. doi: 10.1016/j.medint.2012.01.016.
- Uhlig K., Efremov L., Tongers J. et al. Inotropic agents and vasodilator strategies for the treatment of cardiogenic shock or low cardiac output syndrome. *Cochrane Database Syst Rev*, 2020, Nov 5, vol. 11(11), CD009669. doi: 10.1002/14651858.CD009669.pub4.
- Lomivorotov V.V., Efremov S.M., Kirov M.Y. et al. Low-Cardiac-Output Syndrome After Cardiac Surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2017, vol. 31(1), pp. 291–308. doi: 10.1053/j.jvca.2016.05.029.
- Maganti M., Badiwala M., Sheikh A. et al. Predictors of low cardiac output syndrome after isolated mitral valve surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2010, vol. 140, pp. 790–796. doi: 10.1016/j.jtcvs.2009.11.022.
- Algarni K.D., Maganti M., Yau T.M. Predictors of low cardiac output syndrome after isolated coronary artery bypass surgery: trends over 20 years. *Ann Thorac Surg*, 2011, vol. 92, pp. 1678–1684. doi: 10.1016/j.athoracsur.2011.06.017.
- Osawa E.A., Rhodes A., Landoni G. et al. Effect of perioperative goal-directed hemodynamic resuscitation therapy on outcomes following cardiac surgery: a randomized clinical trial and systematic review. *Crit Care Med*, 2016, vol. 44, pp. 724–733. doi: 10.1097/CCM.0000000000001479.
- Algarni K.D., Weisel R.D., Caldarone C.A. et al. Microplegia during coronary artery bypass grafting was associated with less low cardiac output syndrome: a propensity-matched comparison. *Ann Thorac Surg*, 2013, vol. 95, pp. 1532–1538. doi: 10.1016/j.athoracsur.2012.09.056.
- Lorusso R., Whitman G., Milojevic M. et al. 2020 EACTS/ELSO/STS/AATS expert consensus on post-cardiotomy extracorporeal life support in adult patients. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2021, vol. 59(1), pp. 1287–1331. doi: 10.1093/ejcts/ezaa283.
- Rossini R., Valente S., Colivicchi F. et al. ANMCO POSITION PAPER: Role of intra-aortic balloon pump in patients with acute advanced heart failure and cardiogenic shock. *Eur Heart J Suppl*, 2021, vol. 23(Suppl C), pp. 204–220. doi: 10.1093/eurheartj/suab074.
- Lang C.N., Kaier K., Zotzmann V. et al. Cardiogenic shock: incidence, survival and mechanical circulatory support usage 2007–2017—insights from a national registry. *Clin Res Cardiol*, 2021, vol. 110(9), pp. 1421–1430. doi: 10.1007/s00392-020-01781-z.
- Dhruva S.S., Ross J.S., Mortazavi B.J. et al. Association of use of an intravascular microaxial left ventricular assist device vs intra-aortic balloon pump with in-hospital mortality and major bleeding among patients with acute myocardial infarction complicated by cardiogenic shock. *JAMA*, 2020, vol. 323(8), pp. 734–745. doi: 10.1001/jama.2020.0254.
- Russell A., Rivers E.P., Giri P.C. et al. (2020). A Physiologic Approach to Hemodynamic Monitoring and Optimizing Oxygen Delivery in Shock Resuscitation. *J Clin Med*, 2020, vol. 9(7):2052. doi: 10.3390/jcm9072052.
- Esposito M.L., Kapur N.K. Acute mechanical circulatory support for cardiogenic shock: the "door to support" time. *F1000Res*, 2017, vol. 22(6), pp. 737. doi: 10.12688/f1000research.11150.1.
- García-Alvarez M., Marik P., Bellomo R. Stress hyperlactataemia: present understanding and controversy. *Lancet Diabetes Endocrinol*, 2014, vol. 2(4), pp. 339–347. doi: 10.1016/S2213-8587(13)70154-2.

16. Stephens E.H., Epting C.L., Backer C.L., Wald E.L. Hyperlactatemia: An Update on Postoperative Lactate. *World J Pediatr Congenit Heart Surg*, 2020, vol. 11(3), pp. 316–324. doi: 10.1177/2150135120903977.
17. Lin Y., Bai M., Wang S. et al. Lactate Is a Key Mediator That Links Obesity to Insulin Resistance via Modulating Cytokine Production From Adipose Tissue. *Diabetes*, 2022, vol. 71(4), pp. 637–652. doi: 10.2337/db21-0535.
18. Sumin A.N., Bezdenezhnykh N.A., Bezdenezhnykh A.V. et al. The Role of Insulin Resistance in the Development of Complications after Coronary Artery Bypass Grafting in Patients with Coronary Artery Disease. *Biomedicines*, 2023, vol. 11(11), pp. 2977. doi: 10.3390/biomedicines11112977.
19. Kimmoun A., Novy E., Auchet T., Ducrocq N., Levy B. Hemodynamic consequences of severe lactic acidosis in shock states: from bench to bedside. *Crit Care*, 2015, vol. 19(1), pp. 175. doi: 10.1186/s13054-015-0896-7. Erratum in: *Crit Care*. 2017 Feb 21;21(1):40.
20. Dünser M.W., Hasibeder W.R. Sympathetic overstimulation during critical illness: adverse effects of adrenergic stress. *J Intensive Care Med*, 2009, vol. 24(5), pp. 293–316. doi: 10.1177/0885066609340519.
21. O’Gara P., Kushner F.G., Ascheim D.D. et al. 2013ACCF/AHA guideline for management of ST-elevation myocardial infarction: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *Circulation*, 2013, vol. 127(4), pp. e362–425. doi: 10.1161/CIR.0b013e3182742cf6.
22. Ibanez B., James S., Agewall S. et al. ESC Scientific Document Group. 2017 ESC Guidelines for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation: The Task Force for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J*, 2018, vol. 39, issue 2, pp. 119–177. doi: 10.1093/eurheartj/ehx393.
23. Thiele H., Zeymer U., Neumann F.J. et al. Intra-aortic Balloon Pump in cardiogenic shock II (IABP-SHOCK II) trial investigators. Intra-aortic balloon counterpulsation in acute myocardial infarction complicated by cardiogenic shock (IABP-SHOCK II): final 12 month results of a randomised, open-label trial. *Lancet*, 2013, vol. 382(9905), pp. 1638–1645. doi: 10.1016/S0140-6736(13)61783-3.
24. Joo S., Cho S., Lee J.H. et al. Postcardiotomy Extracorporeal Membrane Oxygenation Support in Patients with Congenital Heart Disease. *J Chest Surg*, 2022, vol. 55(2), pp. 158–167. doi: 10.5090/jcs.21.135.

Поступила 06.04.2025