

## Паттерн элиминации углекислого газа в оценке риска неблагоприятного исхода кардиохирургических вмешательств

Каменская О. В., Логинова И. Ю., Клиноква А. С., Пономарев Д. Н., Альсов С. А., Ломиворотов В. Н., Чернявский А. М.

**Цель.** Целью данной работы явилась оценка влияния уровня парциального давления углекислого газа в конечной порции выдоха ( $P_{et}CO_2$ ) в покое на отдаленные результаты кардиохирургических вмешательств.

**Материал и методы.** В проспективном когортном исследовании участвовали 454 пациента с ишемической болезнью сердца (ИБС), перенесшие плановое кардиохирургическое вмешательство в объеме коронарного шунтирования пораженных артерий. Накануне хирургического вмешательства всем пациентам проведены легочные функциональные тесты, включающие бодиплетизмографию, оценку диффузионной способности легких и кардиопульмональное нагрузочное тестирование с определением параметров легочной вентиляции и газообмена, в т.ч. оценку  $P_{et}CO_2$  в покое. В качестве конечной точки наблюдения анализировали выживаемость пациентов через 2 года после хирургического лечения.

**Результаты.** Среди параметров легочной вентиляции и газообмена предикторную значимость в отношении выживаемости в отдаленные сроки после кардиохирургического вмешательства показали параметры, характеризующие наличие обструктивного паттерна дыхания, диффузионная способность легких и уровень  $P_{et}CO_2$  в покое. Среди исходных клинико-функциональных характеристик значимое влияние на отдаленные результаты показало значение шкалы EuroSCORE II (отношение шансов (ОШ) 1,69 (1,26-2,27),  $p=0,001$ ). Наибольшую чувствительность и специфичность в отношении риска летальности в отдаленном периоде наблюдения после коронарного шунтирования показало значение  $P_{et}CO_2$  в покое, равное 31 мм рт.ст. (площадь под ROC-кривой 0,74 (0,64-0,86),  $p<0,001$ ).

**Заключение.** Уровень  $P_{et}CO_2$  в покое ниже 31 мм рт.ст. у пациентов с ИБС показал значимое влияние на повышение риска летальности в отдаленном периоде наблюдения после кардиохирургических вмешательств, что имеет важное значение для пациентов не толерантных к выполнению нагрузочных тестов.

**Ключевые слова:** ишемическая болезнь сердца, парциальное давление углекислого газа в конечной порции выдоха,  $P_{et}CO_2$ .

**Отношения и деятельность:** нет.

ФГБУ Национальный медицинский исследовательский центр им. акад. Е. Н. Мешалкина, Минздрава России, Новосибирск, Россия.

Каменская О. В. — д.м.н., в.н.с. группы клинической физиологии Центра анестезиологии и реаниматологии, ORCID: 0000-0001-8488-0858, Логино-

ва И. Ю.\* — к.б.н., с.н.с. группы клинической физиологии Центра анестезиологии и реаниматологии, ORCID: 0000-0002-3219-0107, Клиноква А. С. — к.м.н., н.с. группы клинической физиологии Центра анестезиологии и реаниматологии, ORCID: 0000-0003-2845-930X, Пономарев Д. Н. — к.м.н., врач-анестезиолог-реаниматолог отделения анестезиологии-реанимации, ORCID: 0000-0003-3639-7444, Альсов С. А. — д.м.н., врач-сердечно-сосудистый хирург кардиохирургического отделения аорты и коронарных артерий, ORCID: 0000-0002-3427-8137, Ломиворотов В. Н. — д.м.н., профессор, профессор Учебного отдела, ORCID: 0000-0003-2399-563X, Чернявский А. М. — д.м.н., профессор, директор, ORCID: 0000-0001-9818-8678.

\*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author):  
i\_loginova@meshalkin.ru

DLCO — диффузионная способность легких, EuroSCORE — European System for Cardiac Operative Risk Evaluation, FEV<sub>1</sub> — объем форсированного выдоха за первую секунду, FRC — функциональная остаточная емкость, FVC — форсированная жизненная емкость легких, ITGV — внутригрудной объем, NYHA — Нью-Йоркская Ассоциация сердца (New York Heart Association),  $P_{et}CO_2$  — парциальное давление углекислого газа в конечной порции выдоха, RER — дыхательный коэффициент, RV — остаточный объем легких, TLC — общая емкость легких, VC — жизненная емкость легких, Vd/Vt — отношение объема мертвого пространства легких к дыхательному объему, VE — минутный объем дыхания, VE/VCO<sub>2</sub> — вентиляторный эквивалент по углекислому газу, VO<sub>2</sub> — потребление кислорода, ДИ — доверительный интервал, ИБС — ишемическая болезнь сердца, ИВЛ — искусственной вентиляции легких, ИМ — инфаркт миокарда, КШ — коронарное шунтирование, ОШ — отношение шансов, ХОБЛ — хроническая обструктивная болезнь легких.

Рукопись получена 21.10.2019

Рецензия получена 16.12.2019

Принята к публикации 23.12.2019



**Для цитирования:** Каменская О. В., Логинова И. Ю., Клиноква А. С., Пономарев Д. Н., Альсов С. А., Ломиворотов В. Н., Чернявский А. М. Паттерн элиминации углекислого газа в оценке риска неблагоприятного исхода кардиохирургических вмешательств. *Российский кардиологический журнал*. 2020;25(8):3566. doi:10.15829/1560-4071-2020-3566

## Carbon dioxide elimination pattern in assessing the risk of an unfavorable outcome in cardiac surgery

Kamenskaya O. V., Loginova I. Yu., Klinkova A. S., Ponomarev D. N., Alsov S. A., Lomivorotov V. N., Chernyavskiy A. M.

**Aim.** To assess the influence of resting partial pressure of end-tidal carbon dioxide ( $P_{et}CO_2$ ) levels on the long-term results of cardiac surgery.

**Materials and methods.** This prospective cohort study included 454 patients with coronary artery disease who underwent elective coronary artery bypass graft surgery. Before surgery, all patients underwent pulmonary function tests, including body plethysmography, lung diffusion capacity assessment and cardiopulmonary exercise testing with the determination of ventilatory and gas exchange parameters, including  $P_{et}CO_2$  at rest. The endpoint was the 2-year survival rate after surgery.

**Results.** Parameters characterizing the obstructive breathing pattern, the lung diffusion capacity, and resting  $P_{et}CO_2$  levels had a significant predictor value in relation to long-term survival after cardiac surgery. Among the baseline clinical and

functional characteristics, a significant influence on long-term results was shown by the EuroSCORE II (OR 1,69 (1,26-2,27),  $p=0,001$ ). The highest sensitivity and specificity in relation to long-term mortality risk after coronary artery bypass grafting was shown by resting  $P_{et}CO_2$  value equal to 31 mm Hg (area under the ROC curve 0,74 (0,64-0,86),  $p<0,001$ ).

**Conclusion.** The resting  $P_{et}CO_2$  level below 31 mm Hg in patients with coronary artery disease showed a significant effect on the increased long-term mortality risk after cardiac surgery, which is important for patients with exercise intolerance.

**Key words:** coronary artery disease, partial pressure of end-tidal carbon dioxide,  $P_{et}CO_2$ .

Relationships and Activities: none.

\*Corresponding author: i\_loginova@meshalkin.ru

Meshalkin National Medical Research Center, Novosibirsk, Russia.

Received: 21.10.2019 Revision Received: 16.12.2019 Accepted: 23.12.2019

Kamenskaya O.V. ORCID: 0000-0001-8488-0858, Loginova I.Yu.\* ORCID: 0000-0002-3219-0107, Klinkova A.S. ORCID: 0000-0003-2845-930X, Ponomarev D.N. ORCID: 0000-0003-3639-7444, Alsov S.A. ORCID: 0000-0002-3427-8137, Lomivorotov V.N. ORCID: 0000-0003-2399-563X, Chernyavskiy A.M. ORCID: 0000-0001-9818-8678.

**For citation:** Kamenskaya O.V., Loginova I.Yu., Klinkova A.S., Ponomarev D.N., Alsov S.A., Lomivorotov V.N., Chernyavskiy A.M. Carbon dioxide elimination pattern in assessing the risk of an unfavorable outcome in cardiac surgery. *Russian Journal of Cardiology*. 2020;25(8):3566. (In Russ.) doi:10.15829/1560-4071-2020-3566

Тесная взаимосвязь физиологических механизмов сердечно-сосудистой и респираторной систем в поддержании гомеостаза организма обуславливает высокую значимость параметров легочной вентиляции и газообмена при кардиальной патологии, в т.ч. при определении риска хирургического вмешательства. Причиной изменений функции внешнего дыхания при кардиальной патологии традиционно считаются хроническая легочная гипертензия с ремоделированием легочных сосудов, нарушение кислородного баланса и баланса жидкости, нарушение рецепторной функции, увеличение камер сердца, приводящее к смещению легких [1, 2].

Параметры легочного газообмена, такие как пиковое потребление кислорода, вентиляторный эквивалент по углекислому газу ( $VE/VCO_2$ ) в покое, уровень парциального давления углекислого газа в конечной порции выдоха ( $P_{et}CO_2$ ) при пиковой нагрузке, диффузионная способность легких, показали свою прогностическую значимость в оценке риска неблагоприятного исхода при сердечно-сосудистых заболеваниях [3, 4]. Определение  $P_{et}CO_2$  является неотъемлемой частью кардиопульмонального нагрузочного тестирования и используется для неинвазивной диагностики парциального напряжения углекислого газа в артериальной крови ( $P_aCO_2$ ) — одного из основных показателей гомеостаза организма [5]. Снижение  $P_{et}CO_2$  при провокации физической нагрузкой зарегистрировано при многих патофизиологических процессах, связанных с нарушением вентиляционно-перфузионного соотношения [6, 7]. Однако параметры, определяемые в состоянии покоя, имеют ряд преимуществ. После публикации результатов крупного исследования, в котором на большой когорте добровольцев были показаны значения параметров легочной вентиляции и газообмена в покое и их вариабельность у здоровых лиц, стало закономерным изучение отклонений данных параметров при сердечно-сосудистой патологии и их роли в стратификации риска неблагоприятного исхода [8].

Целью данной работы явилась оценка влияния уровня  $P_{et}CO_2$  в покое на отдаленные результаты кардиохирургических вмешательств.

### Материал и методы

В настоящее проспективное когортное исследование было включено 454 пациента с ишемической

болезнью сердца (ИБС), которым планировалось хирургическое лечение в объеме коронарного шунтирования (КШ). Исследование было одобрено локальным этическим комитетом, перед включением все пациенты предоставляли письменное информированное согласие на участие в исследовании. Критерием включения являлась планируемая операция КШ. Критериями исключения являлись отказ от участия, противопоказания к оценке функции внешнего дыхания, экстренный характер операции, острый период инфаркта миокарда (ИМ) и прогрессирующая стенокардия.

Функция внешнего дыхания исследовалась за день до предполагаемого хирургического вмешательства с применением методов бодиплетизмографии и оценки диффузионной способности легких (Master Screen, Jaeger, Германия). При наличии показаний выполнялся тест на обратимость обструкции дыхательных путей с применением 400 мкг сальбутамола и ингалятора с дозирующим устройством. Исследовались абсолютные и отнесенные к должным величинам (с учетом антропометрических параметров и возраста) показатели внешнего дыхания. Параметры легочного газообмена в состоянии покоя оценивались с помощью системы Oxycon Pro (Jaeger, Германия). Кроме того, измерялась артериальная сатурация (%) с применением пульсоксиметрии. Среди параметров легочной вентиляции и газообмена в последующий анализ включены следующие показатели: жизненная емкость легких (VC, л), форсированная жизненная емкость легких (FVC, л), объем форсированного выдоха за первую секунду (FEV<sub>1</sub>, л), индекс Тиффно (%), остаточный объем легких (RV, л), общая емкость легких (TLC, л), функциональная остаточная емкость (FRC, л), внутригрудной объем (ITGV, л), минутный объем дыхания (VE, л/мин), диффузионная способность легких (DLCO, ммоль/л/кПа), потребление кислорода ( $VO_2$ , мл/мин/кг) в покое, дыхательный коэффициент (RER),  $VE/VCO_2$ ,  $P_{et}CO_2$  (мм рт.ст. в покое), отношение объема мертвого пространства легких к дыхательному объему (Vd/Vt), определенное неинвазивно. Всем пациентам выполнен общий анализ крови с определением концентрации гемоглобина (г/л) для корректировки параметров легочной диффузии.

В анализ также были включены демографические, антропометрические параметры, показатели, характеризующие тяжесть основного заболевания (функ-

Таблица 1

## Клинико-функциональная характеристика пациентов

Параметр	Значение для исследуемой группы (n=454)
Возраст, годы	63,2±7,9
Пол: мужчины/женщины, n (%)	367 (81%)/87 (19%)
Индекс массы тела, кг/м <sup>2</sup>	29,5±4,9
Функциональный класс по классификации NYHA	
I, n (%)	13 (3%)
II, n (%)	165 (36%)
III, n (%)	276 (61%)
Острый инфаркт миокарда в анамнезе, n (%)	288 (63%)
Острое нарушение мозгового кровообращения в анамнезе, n (%)	36 (8%)
Сахарный диабет, n (%)	110 (24%)
Нарушения ритма сердца	
Фибрилляция предсердий, n (%)	62 (14%)
Желудочковая экстрасистолия, n (%)	15 (3%)
Атриовентрикулярная блокада, n (%)	2 (0,4%)
Хроническая обструктивная болезнь легких, n (%)	66 (14,5%)
Курящие, n (%)	233 (51%)
Хроническая болезнь почек (по критериям KDIGO 2012)	
C1, n (%)	363 (80%)
C2, n (%)	38 (8%)
C3a, n (%)	53 (12%)
Предшествующие кардиоторакальные хирургические вмешательства, n (%)	96 (21%)
Logistic EuroSCORE II, баллы	1,33 (0,94-1,99)
Фракция выброса левого желудочка, %	58±9,9
Фракционное изменение площади правого желудочка, %	45±4,7

**Сокращение:** NYHA — Нью-Йоркская Ассоциация сердца (New York Heart Association).

циональный класс стенокардии по классификации Нью-Йоркской Ассоциации сердца (NYHA), наличие в анамнезе перенесенных ИМ, острого нарушения мозгового кровообращения, предшествующих кардиохирургических операций; показатели сократительной способности миокарда), наличие сопутствующей патологии (нарушения ритма сердца, сахарный диабет, хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ), хроническая болезнь почек), баллы по шкале EUROscore II. Интраоперационные показатели включали характер операции (изолированное КШ или с выполнением дополнительных вмешательств), использование искусственного кровообращения, количество выполненных дистальных анастомозов, длительность искусственного кровообращения (если использовалось), окклюзии аорты (если применялась), использование баллона для внутриаортальной контрпульсации или других методов вспомогательного кровообращения. Кроме того, были собраны послеоперационные характеристики: длительность искусственной вентиляции легких (ИВЛ) в часах, продолжительность нахождения в реанимации (в днях), продолжительность госпитализации (в днях), госпитальная летальность.

Отдаленные результаты оценивали через 2 года после хирургического лечения. Анализировали вы-

живаемость, случаи сердечно-сосудистых катастроф, повторные кардиохирургические вмешательства. Клинический статус устанавливался посредством телефонного звонка пациенту либо лицу, указанному в информированном согласии.

Статистический анализ проведен с использованием пакета статистических программ SPSS 18.0 (SPSS Inc., США). Количественные переменные представлены в виде медианы и интерквартильного размаха ( $Me (Q_{25} - Q_{75})$ ), качественные переменные — в виде частоты встречаемости и/или процентного отношения. Препредикторную ценность показателей определяли с помощью логистической регрессии. Данные представлены в виде отношения шансов (ОШ) и 95% доверительного интервала (ДИ). Результаты ROC-анализа представлены в виде значения площади под ROC-кривой и 95% ДИ. Кривые выживаемости построены по методу Каплан-Майера с оценкой достоверности различий по критерию log-rank. Значение  $p < 0,05$  считали статистически значимым для всех видов анализа.

### Результаты

Исходная клинико-функциональная характеристика пациентов представлена в таблице 1. Большинство пациентов соответствовали III функциональ-

Таблица 2

Параметры легочной вентиляции и газообмена у пациентов кардиохирургического профиля

Параметр	Значение для исследуемой группы (n=454)	
	Абсолютное значение	% от должных величин
VC, л	3,57 (2,91-4,09)	95 (85-105)
FVC, л	3,43 (2,85-4,00)	97 (83-102)
FEV <sub>1</sub> , л	2,71 (2,16-3,21)	97 (84-107)
Индекс Тиффно, %	78 (71-83)	-
Индекс Тиффно <70%, n (%)	89 (20%)	-
RV, л	2,46 (2,08-2,89)	105 (92-129)
TLC, л	5,66 (4,85-6,41)	91 (85-99)
FRC, л	2,79 (2,36-3,41)	89 (78-102)
ITGV, л	3,68 (2,94-4,33)	109 (93-128)
VE, л/мин	10,65 (9,44-12,70)	106 (87-133)
DLCO, ммоль/л/кПа	6,02 (4,95-7,21)	72 (61-83)
VO <sub>2</sub> в покое, мл/мин/кг	2,85 (2,49-3,29)	-
RER	0,89 (0,80-1,02)	-
VE/VCO <sub>2</sub>	34,5 (31,8-41,8)	-
P <sub>a</sub> CO <sub>2</sub> в покое, мм рт.ст.	33,4 (30,9-36,2)	-
Vd/Vt	23 (20-26)	-
Артериальная сатурация, %	95,5 (95,0-96,0)	-

**Сокращения:** VC — жизненная емкость легких, FVC — форсированная жизненная емкость легких, FEV<sub>1</sub> — объём форсированного выдоха за первую секунду, RV — остаточный объем легких, TLC — общая емкость легких, FRC — функциональная остаточная емкость, ITGV — внутригрудной объем, VE — минутный объем дыхания, DLCO — диффузионная способность легких, VO<sub>2</sub> — потребление кислорода, RER — дыхательный коэффициент, VE/VCO<sub>2</sub> — вентиляторный эквивалент по углекислому газу, P<sub>a</sub>CO<sub>2</sub> — парциальное давление углекислого газа в конечной порции выдоха, Vd/Vt — отношение объема мертвого пространства легких к дыхательному объему.

ному классу хронической сердечной недостаточности. В 19% случаев (у 86 пациентов) операции КШ предшествовала чрескожная транслюминальная баллонная ангиопластика со стентированием коронарных артерий, 4 пациента имели в анамнезе КШ, 2 пациента — протезирование клапана сердца. Кроме того, 4 пациента ранее перенесли резекцию доли легкого.

До хирургического лечения 14,5% пациентов имели установленный диагноз ХОБЛ. Однако по результатам проведенных легочных функциональных тестов (табл. 2) частота встречаемости обструктивных нарушений была выше. Среди изучаемых параметров обращает на себя внимание снижение показателя легочной диффузии до 72 (61-83)% от должных величин.

Всем пациентам было выполнено КШ пораженных артерий, в 83% с применением искусственного кровообращения. Изолированное КШ было выполнено в 397 (87%) случаев, КШ с пластикой аневризмы левого желудочка — в 19 (4%) случаях, КШ и радиочастотная абляция предсердий — в 17 (4%) случаях, КШ с пластикой или протезированием митрального клапана — в 7 (1,5%) случаях, КШ в сочетании с прочими вмешательствами — в 14 случаях. Количество дистальных анастомозов 3 (2-3). Баллон для внутриартериальной контрпульсации применялся в 9 (2%) случаях. Длительность искусственного кровообращения

в общей группе составила 55 (44-68) мин, время окклюзии аорты 31 (25-42) мин. Время пребывания в палате реанимации составило 1 (1-2) сут., длительность ИВЛ 6 (4-8) ч, продленная вентиляция (>24 ч) применялась в 10 случаях (2,2%).

Основными послеоперационными осложнениями на госпитальном этапе явились сердечная недостаточность — у 59 пациентов (13%), фибрилляция предсердий — в 94 (21%) случаях, плеврит — в 38 (8%). Кровотечение, потребовавшее повторного вмешательства, возникло у 9 пациентов (2%). Длительность госпитализации в исследуемой группе составила 10 (9-13) сут. Госпитальная летальность составила 1,3%.

Отдаленный период наблюдения составил 2 года. Потери для дальнейшего наблюдения были 18 пациентов. За период наблюдения 2 пациента (0,4%) перенесли повторное КШ, 47 пациентов (11%) — другие хирургические вмешательства. Случаи сердечно-сосудистых катастроф зарегистрированы в 19 случаях (4%), из них острый ИМ — у 10 пациентов, острое нарушение мозгового кровообращения — у 9 пациентов. Летальность в отдаленном периоде наблюдения составила 5%, смертность в результате сердечно-сосудистых причин — 3%. Другими причинами летальности преимущественно явилось прогрессирование онкологического процесса.

Анализ взаимосвязи параметров легочных функциональных тестов и других исходных клинико-

**Таблица 3**  
**Предикторное значение параметров легочной вентиляции и газообмена в оценке риска неблагоприятного исхода в отдаленные сроки после КШ**

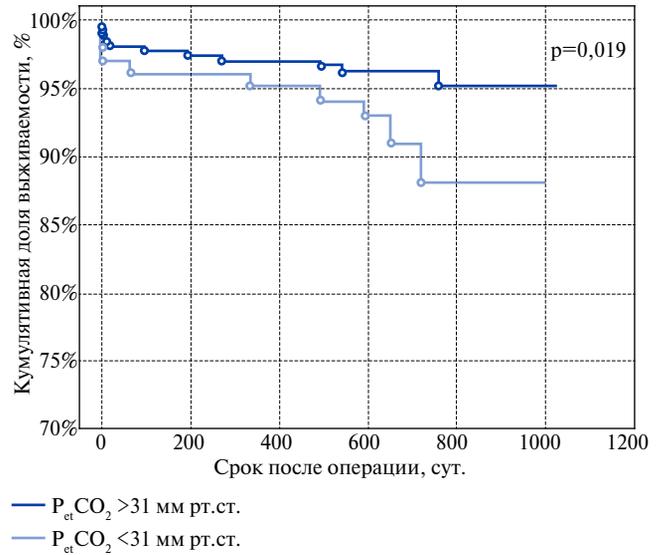
Параметр	Отношение шансов	95% ДИ	p
VC, л	0,98	0,95-1,00	0,159
FVC, л	0,98	0,94-1,01	0,238
FEV <sub>1</sub> , л	0,96	0,94-0,98	0,002
Индекс Тиффно, %	0,93	0,89-0,97	0,001
RV, л	1,01	0,99-1,03	0,074
TLC, л	0,99	0,96-1,03	0,853
FRC, л	1,02	0,99-1,04	0,069
ITGV, л	1,00	0,99-1,02	0,173
VE, л/мин	1,00	0,99-1,02	0,625
DLCO, ммоль/л/кПа	0,96	0,94-0,99	0,015
VO <sub>2</sub> в покое, мл/мин/кг	1,67	0,80-3,49	0,174
RER	0,13	0,02-9,02	0,334
VE/VCO <sub>2</sub>	0,95	0,93-1,06	0,358
P <sub>et</sub> CO <sub>2</sub> в покое, мм рт.ст.	0,92	0,93-0,99	0,001
Vd/Vt	1,04	0,99-1,09	0,102

**Сокращения:** ДИ — доверительный интервал, VC — жизненная емкость легких, FVC — форсированная жизненная емкость легких, FEV<sub>1</sub> — объём форсированного выдоха за первую секунду, RV — остаточный объем легких, TLC — общая емкость легких, FRC — функциональная остаточная емкость, ITGV — внутригрудной объем, VE — минутный объем дыхания, DLCO — диффузионная способность легких, VO<sub>2</sub> — потребление кислорода, RER — дыхательный коэффициент, VE/VCO<sub>2</sub> — вентиляционный эквивалент по углекислому газу, P<sub>et</sub>CO<sub>2</sub> — парциальное давление углекислого газа в конечной порции выдоха, Vd/Vt — отношение объема мертвого пространства легких к дыхательному объему.

функциональных характеристик с клиническими исходами в отдаленном периоде наблюдения после КШ позволил выявить предикторы неблагоприятного прогноза — таблица 3.

Среди параметров легочной вентиляции и газообмена значимое предикторное значение в отношении выживаемости в отдаленные сроки после КШ показали параметры, характеризующие наличие обструктивного паттерна дыхания, диффузионная способность легких и уровень P<sub>et</sub>CO<sub>2</sub> в покое. Среди исходных клинико-функциональных характеристик значимое влияние на отдаленные результаты КШ показали значение шкалы EuroSCORE II (ОШ 1,69 (1,26-2,27), p=0,001) и длительность пребывания в отделении реанимации и интенсивной терапии (ОШ 1,29 (1,07-1,55), p<0,001).

По данным ROC-анализа, оптимальной чувствительностью и специфичностью в отношении риска летальности в отдаленном периоде наблюдения после КШ обладает значение P<sub>et</sub>CO<sub>2</sub> в покое, равное 31 мм рт.ст. (площадь под ROC-кривой 0,74 (0,64-0,86), p<0,001). Выживаемость в отдаленные сроки после КШ в зависимости от уровня P<sub>et</sub>CO<sub>2</sub> представлена на рисунке 1.



**Рис. 1.** Выживаемость пациентов после кардиохирургического вмешательства в зависимости от уровня P<sub>et</sub>CO<sub>2</sub> в покое.

**Сокращение:** P<sub>et</sub>CO<sub>2</sub> — парциальное давление углекислого газа в конечной порции выдоха.

### Обсуждение

В настоящее время в мировой научной литературе возрос интерес к изучению функции легких при кардиохирургической патологии [9-11]. Многочисленными исследованиями показано, что состояние оксигенирующей функции легких до и во время хирургического вмешательства оказывает значимое влияние на клинический исход в раннем и отдаленном периодах наблюдения, что определяет целесообразность оценки исходной функции дыхания [12].

Проведенное исследование продемонстрировало значимое влияние вентиляционно-диффузионных нарушений функции внешнего дыхания на клинический исход кардиохирургических вмешательств в отдаленном периоде наблюдения. Преимуществами работы явилось большое количество наблюдений, комплексная оценка функции внешнего дыхания и газообмена, а также оценка прогностической значимости параметров газообмена, измеренных в состоянии покоя, без использования провокации физической нагрузкой.

Согласно полученным данным, патологический обструктивный паттерн дыхания встречался у пациентов с ИБС изучаемой группы в 20% случаев, эффективность легочной вентиляции у пациентов была снижена, о чем свидетельствует значение VE/VCO<sub>2</sub> slope >34 и низкий уровень диффузионной способности легких.

Значение P<sub>et</sub>CO<sub>2</sub> в состоянии покоя у здоровых лиц составляет 36-42 мм рт.ст. и при выполнении физической нагрузки возрастает [3]. В исследуемой группе значение P<sub>et</sub>CO<sub>2</sub> составило 33,4 (30,9-36,2) мм рт.ст.

В исследовании показаны значимые ассоциации между параметрами легочного газообмена и риском развития неблагоприятного исхода — летальности в течение двух лет наблюдения после КШ. Помимо наличия у пациентов обструктивного паттерна дыхания и снижения диффузионной способности легких, предикторное значение показал параметр  $P_{et}CO_2$ , измеренный в состоянии покоя. Так, уровень  $P_{et}CO_2$  в покое ниже 31 мм рт.ст. у пациентов кардиохирургического профиля был взаимосвязан с высоким риском летальности в отдаленном периоде наблюдения после КШ, что имеет важное значение для пациентов не толерантных к выполнению нагрузочных тестов.

Биомеханика дыхания и газообмен при кардиохирургической патологии, в частности при хирургически значимом поражении сосудов коронарного русла, имеют серьезные нарушения. Снижение сердечного выброса и застой в системе малого круга кровообращения вызывают дисбаланс в соотношении вентиляции и перфузии легких (вентиляционно-перфузионное несоответствие), что приводит к увеличению отношения физиологического мертвого пространства к дыхательному объему. Компенсаторно у больных ИБС повышается частота дыхания, что приводит к увеличению работы дыхания [5, 13]. Другим ключевым моментом является наличие недиагностированных сопутствующих заболеваний респираторной системы у пациентов кардиохирургического профиля, среди которых наиболее часто встречается ХОБЛ.

В предшествующих исследованиях нами уже были показаны распространенность нарушений легочной вентиляции при сердечно-сосудистых заболеваниях и их влияние на ранний послеоперационный период [14]. Следует отметить и интраоперационные факторы нарушения функции легких, включающие неблагоприятные эффекты ИВЛ и искусственного кровообращения, длительное вынужденное положение на операционном столе, что в результате приводит к гипероксическому повреждению и микроателектазированию легочной ткани [15].

Полученные в нашем исследовании данные соотносятся с результатами других исследований [6], в которых также показаны снижение уровня  $P_{et}CO_2$  в покое у пациентов с сердечно-сосудистой патологией по сравнению со здоровыми лицами и значимые ассоциации уровня  $P_{et}CO_2$  с параметрами резервных возможностей кардиореспираторной системы, а также со смертностью от сердечно-сосудистых причин [6].

Таким образом, оценка легочной вентиляции и газообмена, в т.ч. паттерна элиминации углекислого газа в состоянии покоя, являются перспективными для дальнейшего изучения, стратификации рисков, оптимизации стратегий лечения и профилактики осложнений у кардиохирургических пациентов.

**Отношения и деятельность:** авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

## Литература/References

- Snyder EM, Turner ST, Johnson BD. Beta2-adrenergic receptor genotype and pulmonary function in patients with heart failure. *Chest*. 2006;130:1527-34. doi:10.1378/chest.130.5.1527.
- Olson TP, Beck KC, Johnson BD. Pulmonary function changes associated with cardiomegaly in chronic heart failure. *J Card Fail*. 2007;13:100-7. doi:10.1161/j.cardfail.2006.10.018.
- Guazzi M, Arena R, Halle M, et al. 2016 Focused Update: Clinical Recommendations for Cardiopulmonary Exercise Testing Data Assessment in Specific Patient Populations. *Circulation*. 2016;133:e694-e711. doi:10.1161/cir.0000000000000406.
- Wagner J, Agostoni P, Arena R, et al. The Role of Gas Exchange Variables in Cardiopulmonary Exercise Testing for Risk Stratification and Management of Heart Failure with Reduced Ejection Fraction. *Am Heart J*. 2018;202:116-26. doi:10.1016/j.ahj.2018.05.009.
- Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, et al. Principles of Exercise Testing and Interpretation: Including Pathophysiology and Clinical Applications, 4th Edition. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins; 2005.
- Arena R, Peberdy MA, Myers J, et al. Prognostic value of resting end-tidal carbon dioxide in patients with heart failure. *Int J Cardiol*. 2006;109(3):351-8. doi:10.1016/j.ijcard.2005.06.0329.
- Myers J, Gujja P, Neelaguru S, et al. End-Tidal CO2 Pressure and Cardiac Performance during Exercise in Heart Failure. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41(1):19-25. doi:10.1249/mss.0b013e318184c945.
- Coffman KE, Chevront SN, Salgado RM, Kenefick RW. Biological variation of resting measures of ventilation and gas exchange in a large healthy cohort. *Eur J Appl Physiol*. 2019;119(9):2033-40. doi:10.1007/s00421-019-04190-x.
- Apostolakis E, Filos KS, Koletsis E, Dougenis D. Lung Dysfunction Following Cardiopulmonary Bypass. *J Card Surg*. 2010;25:47-55. doi:10.1111/j.1540-8191.2009.00823.x.
- Gologorsky E, Gologorsky A, Salerno TA. Lung-Centered Open Heart Surgery: A Call for a Paradigm Change. *Front Cardiovasc Med*. 2016;12(3). doi:10.3389/fcvm.2016.00012.
- Zhang M-Q, Liao Y-Q, Yu H, et al. Ventilation strategies with different inhaled Oxygen concentration during Cardiopulmonary Bypass in cardiac surgery (VONTCPB): study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*. 2019;20(1). doi:10.1186/s13063-019-3335-2.
- Badenes R, Lozano A, Belda FJ. Postoperative pulmonary dysfunction and mechanical ventilation in cardiac surgery. *Crit Care Res Pract*. 2015;2015:1-8. doi:10.1155/2015/420513.
- Wynne R, Botti M, Tatoulis J. The trajectory of postoperative pulmonary dysfunction in adults after cardiac surgery. *Chest*. 2011;140(4):507A. doi:10.1378/chest.1119031.
- Ponomarev D, Kamenskaya O, Klinkova A, et al. Chronic Lung Disease and Mortality after Cardiac Surgery: A Prospective Cohort Study. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2018;32(5):2241-5. doi:10.1053/j.jvca.2017.12.016.
- Groeneveld ABJ, Jansen EK, Verheij J. Mechanisms of pulmonary dysfunction after on-pump and off-pump cardiac surgery: a prospective cohort study. *J Cardiothorac Surg*. 2007;2(1):11-7. doi:10.1186/1749-8090-2-11.