

*Архипова Н. В.<sup>1,2</sup>, Быков Е. В.<sup>1</sup>*

*Уральский государственный университет физической культуры<sup>1</sup>*

*Россия, Челябинск*

*ФГБНУ «НИИ Комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний»*

*Министерства науки и высшего образования РФ<sup>2</sup>*

*Россия, Кемерово*

*arkhipova.natali@list.ru*

## **ДИНАМИКА СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ И ОТДЕЛЬНЫХ ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ РЕСПИРАТОРНОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ПОСЛЕ КОРОНАРНОГО ШУНТИРОВАНИЯ**

**Аннотация.** Учитывая особую опасность респираторных осложнений кардиологических пациентов после хирургического вмешательства на открытом сердце, поставлена цель – изучить особенности реагирования системы внешнего дыхания и гематологических показателей в зависимости от способа применяемой в реабилитации дыхательной гимнастики. **Материалы и методы.** Обследовано 73 пациента со стабильной ишемической болезнью сердца, подвергшихся коронарному шунтированию в ФГБНУ НИИ КПССЗ г. Кемерово. Средний возраст пациентов составил  $64,4 \pm 5,1$  лет. Все пациенты рандомизированы на две группы: основную ( $n=38$ ) и контрольную ( $n=35$ ). Программа физических нагрузок включала ЛФК, обучение правильному дыханию, дозированную ходьбу и психотерапию. Различались программы в методах обучения дыхательным упражнениям: в контрольной группе применялся целостный метод, в основной – метод расчленено-конструктивного упражнения. **Результаты.** Использование метода расчленено-конструктивного упражнения повышает эффективность респираторной реабилитации. Вычлененные из целостного движения отдельные элементы выполняются с доступными затратами физической и психической энергии в связи с их большей простотой, что играет значительную роль в освоении дыхательной гимнастики, при этом позволяя либо избежать, либо существенно снизить риски развития респираторных осложнений.

**Ключевые слова:** *коронарное шунтирование, гематологические показатели, респираторная реабилитация, методические подходы*

*Arkhipova N. V.<sup>1,2</sup>, Bykov E. V.<sup>1</sup>*

*Ural State University of Physical Education<sup>1</sup>*

*Russia, Chelyabinsk*

*Department of Medical Rehabilitation of Adult Patients with Somatic*

*Diseases of the Federal State Budgetary Institution "Scientific Research Institute*

*of Complex Problems of Cardiovascular Diseases" of the Ministry of Science and Higher*

*Education of the Russian Federation<sup>2</sup>*

*Russia, Kemerovo*

*arkhipova.natali@list.ru*

# DYNAMICS OF THE STATE OF THE EXTERNAL RESPIRATORY SYSTEM AND INDIVIDUAL HEMATOLOGICAL INDICATORS DURING VARIOUS RESPIRATORY REHABILITATION OPTIONS AFTER CORONARY ARTERY BYPASS GRAFTING

**Abstract.** Considering the special danger of respiratory complications in cardiac patients after open-heart surgery, the goal is to study the features of the response of the external respiratory system and hematological parameters depending on the method of respiratory gymnastics used in rehabilitation. **Materials and methods.** The study included 73 patients with stable coronary artery disease who underwent coronary artery bypass grafting at the Kemerovo Research Institute of Cardiovascular Surgery. The average age of the patients was  $64.4 \pm 5.1$  years. All patients were randomized into two groups: the main ( $n=38$ ) and the control ( $n=35$ ). The physical activity program included exercise therapy, breathing training, dosed walking, and psychotherapy. The programs differed in the methods of teaching breathing exercises: the control group used a holistic method, while the main group used a method of dismembered-constructive exercise. **Results.** The use of the method of dismembered-constructive exercise increases the effectiveness of respiratory rehabilitation. Individual elements isolated from the integral movement are performed with affordable expenditure of physical and mental energy due to their greater simplicity, which plays a significant role in mastering respiratory gymnastics, while allowing either to avoid or significantly reduce the risks of developing respiratory complications.

**Keywords:** *coronary artery bypass grafting, hematological parameters, respiratory rehabilitation, methodological approaches*

**Актуальность.** Неспособность системы внешнего дыхания обеспечить нормальный газовый состав артериальной крови распространена в хирургии на открытом сердце. Ключевыми ограничивающими параметрами являются как острые поражения легких, так и патология других систем, обеспечивающих альвеолярную вентиляцию (нервно-мышечной, связочно-суставного аппарата грудной клетки, кровообращения, крови) [1; 2].

В большинстве случаев послеоперационные нарушения биомеханики и работы дыхания связаны со снижением выраженных движений живота, симптомом Гувера, торакоабдоминального отсутствия синхронизации, что приводит к снижению скорости воздушного потока, конечно-экспираторного давления и увеличе-

нию гиперкапнии при дыхании. Компенсаторные реакции (включение вспомогательной мускулатуры и/или увеличение частоты дыхания) приводят к возрастанию энергозатрат работы дыхания и наступлению переутомления дыхательной мускулатуры с последующим развитием дыхательной слабости [2-4]. Одновременно вентиляционные нарушения связаны с последствиями влияния хирургического вмешательства на кровь (**активация свободно-радикальных процессов и угнетение защитных антиоксидантных систем в крови, способных разобщать сопряжённое с дыханием окислительное фосфорилирование, нарушать системы клеточной регуляции и клеточного деления**) [5; 6]. В данных условиях респираторная реабилитация является основополагаю-

щим компонентом, определяющим исход хирургического вмешательства.

Учитывая, что эффективность применяемых средств физической реабилитации будет во многом зависеть от правильно подобранных методов их применения, а вероятность ошибок может снизить эффективность проводимых процедур у пациентов, испытывающих трудности при дыхании, была поставлена задача – изучить особенности реагирования системы внешнего дыхания и гематологических показателей при выполнении целостного упражнения и метода конструктивно-расчлененного упражнения в комплексе дыхательной гимнастики.

Преимущества предлагаемого метода заключаются в возможности точнее регламентировать нагрузку и отдых (продолжительность физической работы, ее напряженность), контролировать величину биохимических, физиологических ответных реакций организма больного, эффективно осваивать технику упражнений.

**Цель исследования:** изучить особенности функционального состояния системы внешнего дыхания и отдельных гематологических показателей в зависимости от метода выполнения дыхательной гимнастики.

**Материалы и методы исследования.** Обследовано 73 пациента, 58 мужчин и 15 женщин со стабильной ИБС, подвергшихся коронарному шунтированию (КШ) в ФГБНУ «НИИ КПССЗ» г. Кемерово. Средний возраст пациентов составил  $64,4 \pm 5,1$  лет. Все исследования с участием пациентов соответствовали стандартам биоэтического комитета, разработанным в соответствии с Хельсинской декларацией Всемирной ассоциации «Этические принципы проведения научных меди-

цинских исследований с участием человека». Всеми пациентами было подписано информированное согласие на участие в исследовании.

Критерии включения: верифицированный диагноз ИБС, изолированная операция КШ в условиях ИК.

В исследование не включались больные, имевшие клинику стенокардии в раннем послеоперационном периоде; недостаточность кровообращения II Б и III стадии, аневризму сердца и сосудов, стойкое повышенное артериальное давление (систолическое артериальное давления выше 180 мм рт. ст. и/или диастолического более 120 мм рт. ст.); гипертермию; острый тромбофлебит; нарушения ритма и проводимости сердца, тяжелые сопутствующие заболевания, препятствующие участию в программе тренировок и проведению нагрузочного теста.

Ограничения исследования включали объем анализов в стандарте оказания медицинской помощи в оценке форменных элементов (эритроцитов, лейкоцитов и тромбоцитов) *клинического анализа крови*.

При поступлении на I этапе реабилитации (8-10 дней) проводились занятия лечебной и дыхательной гимнастикой, дозированная ходьба, образовательные мероприятия в соответствии с Российскими клиническими рекомендациями по реабилитации больных ишемической болезнью сердца (ИБС) после КШ [7]. Все пациенты осмотрены врачами мультидисциплинарной реабилитационной команды (МДРК). Методом рандомизации они были распределены на две сопоставимые по основным анамнестическим и клинико-функциональным показателям группы: основную группу ( $n=38$ ), где на дополнительных индивидуаль-

ных занятиях дыхательной гимнастикой пациентов обучали управлению своим дыханием, применяя метод расчлененно-конструктивного упражнения [8], и группу контроля (использован стандартный комплекс). По окончании I стационарного этапа реабилитации пациенты переводились на II стационарный этап реабилитации на базе кардиохирургического отделения НИИ КПССЗ продолжительностью 14-16 дней.

Двухнедельный цикл обучающей программы включал комплекс дыхательной гимнастики: полное или диафрагмально-грудо-межреберное дыхание, когда в дыхательном процессе принимают участие диафрагма, грудные и межреберные мышцы; смешанное диафрагмально-межреберное дыхание, когда к работе диафрагмы подключаются нижние межреберные мышцы, и диафрагмальное дыхание, выполняемое в основном за счет работы диафрагмы, купол которой при вдохе опускается и поднимается при выдохе. Первые занятия были направлены на получение пациентом представления о компонентах грудного и брюшного дыхания, о дыхательной мускулатуре, направлениях движения передней грудной и/или брюшной стенки, длительности фаз дыхания. Пациентов обучали отмеривать и оценивать параметры дыхательных и двигательных циклов и синхронизировать их. Например, по амплитуде «дальше-ближе», по времени «короче-длиннее», по силе «слабо – сильно».

При усвоении заданий пациентам предлагали дифференцировать параметры дыхательных и двигательных циклов: пространственных – в разных положениях – лежа, сидя, стоя; временных параметров – длительности

всего цикла и фаз движения; скорости дыхания – резких и плавных движений ребер; различать силовые усилия в работе мышц и расслабляться; расставлять дыхательные акценты на вдох или выдох [8]. В конце обучающей программы уделялось внимание последовательному объединению вычлененных элементов упражнений и совершенствованию умений управлять своим дыханием (в условиях улицы, подъеме по лестнице).

**Методы исследования.** Оценивали состояние больных перед началом (9-10-е сутки после КШ) и в конце II этапа реабилитации (22-25-е сутки). У всех пациентов проводилась комплексная оценка клинического статуса, эхокардиография (ЭхоКГ), ультразвуковое исследование плевральной полости (аппарат Philips Clear Vue 550, Китай), R-графия органов грудной клетки (R –ОГК, рентген-аппарат ТМХ R+, GE Healthcare, США). Для мониторинга уровня парциального давления кислорода в крови проводили пульсоксиметрию (пульсоксиметр OxuWatch, США). Для оценки интенсивности одышки при стандартном нагрузочном тестировании ходьбы использовалась шкала Борга.

Диагностические исследования крови проводилось в стандартных условиях на автоматическом гематологическом анализаторе. Общий анализ крови включал в себя определение концентрации гемоглобина, количества эритроцитов, лейкоцитов, тромбоцитов и величины гематокрита (HGC, RBC, WBC, PLT, HCT). Осуществлялись заборы крови из кубитальной вены на 5-7-е сутки послеоперационного периода, на 22-24-е сутки выполнялся повторный забор крови.

**Статистическая обработка.** Для проведения статистического анализа использовано компьютерное программное обеспечение STATISTICA 8.0. Гипотеза о нормальном распределении проверялась с использованием критерия Шапиро-Уилка. Для каждой из непрерывных величин, имеющих нормальное распределение, приведены среднее значение (M) и стандартное отклонение (SD). Распределения, отличные от нормального описаны при помощи медианы, перцентилей и ин-

терквартильного размаха. Проверка двух независимых выборок осуществлялась с использованием критериев Манна-Уитни для несвязанных выборок и Вилкоксона – для связанных. Статистически значимыми признавали значения  $p < 0,05$ .

**Результаты исследования и их обсуждение.** Исходно клинико-анамнестические показатели в сравниваемых группах не различались (таблица 1).

Таблица 1 – Клинико-анамнестическая характеристика больных, подвергшихся коронарному шунтированию,  $M \pm SD$ , Me [Q25; Q75]

Показатель	Контрольная группа, n=35	Основная группа, n=38	p
Возраст, лет	60,5±7,7	63,6±5,7	0,205
ХСН (по NYHA), функциональный класс	1 [1; 1]	1 [1; 2]	0,374
ФВ ЛЖ (%)	53,5±9,9	55,0±7,9	0,658
Продолжительность искусственного кровообращения, мин	78,4±28,1	81,7±32,3	0,871
Количество наложенных коронарных шунтов, n	2 [2; 3]	3 [2; 3]	0,066
Продолжительность ИВЛ, час	4 [3,3; 4,2]	4 [3,6; 4,6]	0,119
Интраоперационная кровопотеря, мл	500,0 [400,0; 500,0]	500,0 [400,0; 500,0]	
Кровопотеря общая, мл	800 [650,0; 950,0]	800 [650,0; 950,0]	

Примечания: ХСН - хроническая сердечная недостаточность; NYHA - Нью-Йоркская кардиологическая ассоциация; ФВ ЛЖ - фракция выброса левого желудочка, ИВЛ – искусственная вентиляция легких

Послеоперационный анализ параметров внутрисердечной гемодинамики (размеров левых и правых отделов сердца, наличие и степень дискинезии миокарда левого желудочка, а также наличие аневризмы, выпота в полость перикарда) не выявил достоверного увеличения показателей фракции выброса (ФВ%) левым желудоч-

ком (ЛЖ), при  $p=0,749$  и объемов левого желудочка (КСО и КДО ЛЖ).

Динамика изменений биомеханики дыхания при различных методах выполнения дыхательной гимнастики имела свои особенности (таблица 2). Метод целостного выполнения упражнений приводил к незначительной тенденции уменьшения вентиляционной недостаточности без выраженной кор-

рекции работы дыхания на фоне течения воспалительных, ограничительных влияний хирургической травмы груд-

ной клетки и легких (таблица 2, рисунок 2).

Таблица 2 – Послеоперационная динамика респираторных осложнений

Параметр	Контрольная группа (n=35)		Основная группа (n=38)	
	I этап реабилитации	II этап реабилитации	I этап реабилитации	II этап реабилитации
Количество зарегистрированных пациентов с пневмонией, n (%)	-	-	5,41% (2,06/38)	-
Кол-во зарегистрированных пациентов с трахеобронхитом, (%)	2,86% (1/35)	-	2,7% (1,03/38)	5,41% (2,06/38)
Количество зарегистрированных пациентов с гидротораксом, n (%)	57,14% (20/35)	20% (7/35)	78,38% (29,78/38)	21,62% (8,22/38)
Количество зарегистрированных пациентов с пневмотораксом, n (%)	2,86% (1/35)	-	5,41% (2,06/38)	2,7% (1,03/38)

При сопоставлении результатов R-ОГК и данных ультразвукового исследования плевральной полости I и II этапов реабилитации в обеих группах отмечено уменьшение количества пациентов с гидротораксом, однако в основной группе (n=38) количество пациентов с разрешившимся гидротораксом оказалось достоверно больше по сравнению с контрольной (p=0,001) (рисунок 1).

По данным анализа оксиметрии (SpO<sub>2</sub>%) каждый из методов тренировки дыхания оказывает специфическое влияние на динамику сатурации кислорода крови при нагрузочном тестировании (рисунки 2-3). Достоверное уменьшение парциального напря-

жения кислорода (PaO<sub>2</sub>) в артериальной крови отразило отчетливое снижение резервных возможностей работы дыхания в группе контроля (n=35) по сравнению с основной (n=38), связанное, вероятно с нарушением интенсивности процессов окислительного фосфорилирования. Подтверждением этого является изменение дыхательного паттерна, выраженное в работе дыхания – уменьшении глубины вдоха и силы выдоха, увеличении частоты дыхания, то есть наиболее энергетически зависимых маневров работы дыхания при физической активности [9-12], что снижало потенциальную возможность синтеза богатых энергией фосфорных соединений и других веществ, принима-

ющих участие в энергетическом обеспечении сократительного акта, совпадающей (сатурация кислорода крови) с

оценками пациентов восприятия одышки (рисунок 2).

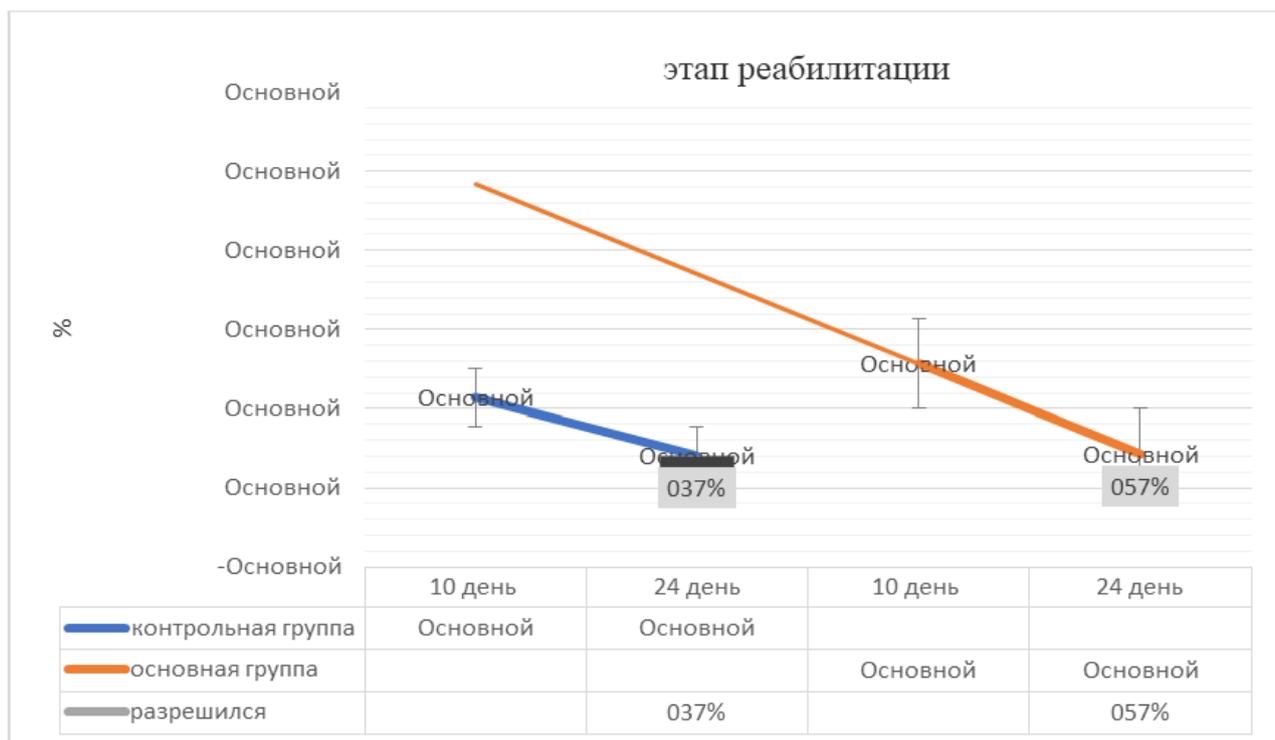


Рисунок 1 – Динамика доли пациентов с гидротораксом в зависимости от метода выполнения дыхательной гимнастики

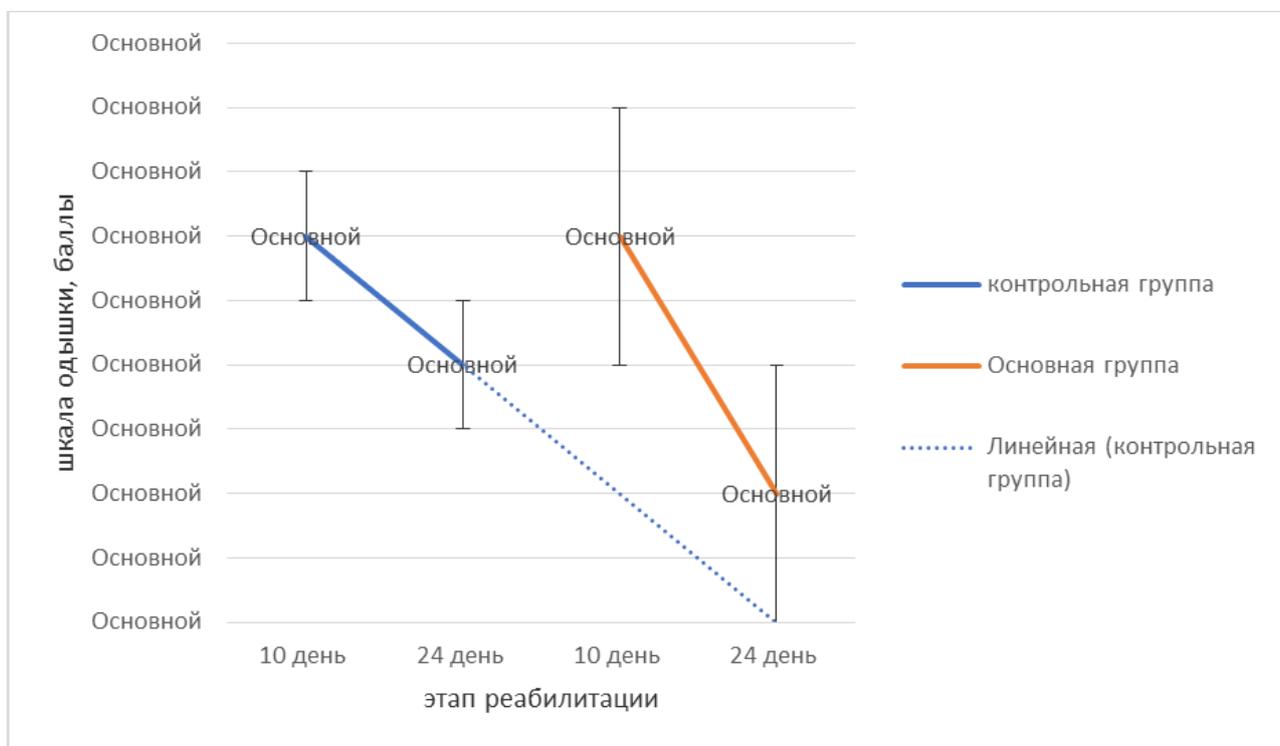


Рисунок 2 – Динамика одышки при ходьбе пациентов, подвергшихся КШ, в зависимости от метода выполнения дыхательной гимнастики

Система внешнего дыхания последовательно, не переставая, обеспечивается аппаратом дыхания (легкие, грудная клетка, дыхательная мускулатура), постоянно выполняющих механическую работу, требующую определенных энергозатрат. Энергозатраты, в свою очередь, будут зависеть от мощности общей работы, затрачиваемой на преодоление эластического сопротивления легких и грудной клетки, сопротивления воздушного потока в дыхательных путях. Согласно утверждения

**R. J. Shepard (1966)** о критической границе энергетической стоимости работы аппарата внешнего дыхания [9-12] кислородная стоимость дыхания увеличивается и на каждый литр вентиляции затрачивается дополнительно 1 мл кислорода (O<sub>2</sub>), а при значительном возрастании минутного объема дыхания (МОД) энергетическая стоимость работы аппарата внешнего дыхания становится более высокой, что регистрировалось в группе контроля (рисунок 3).

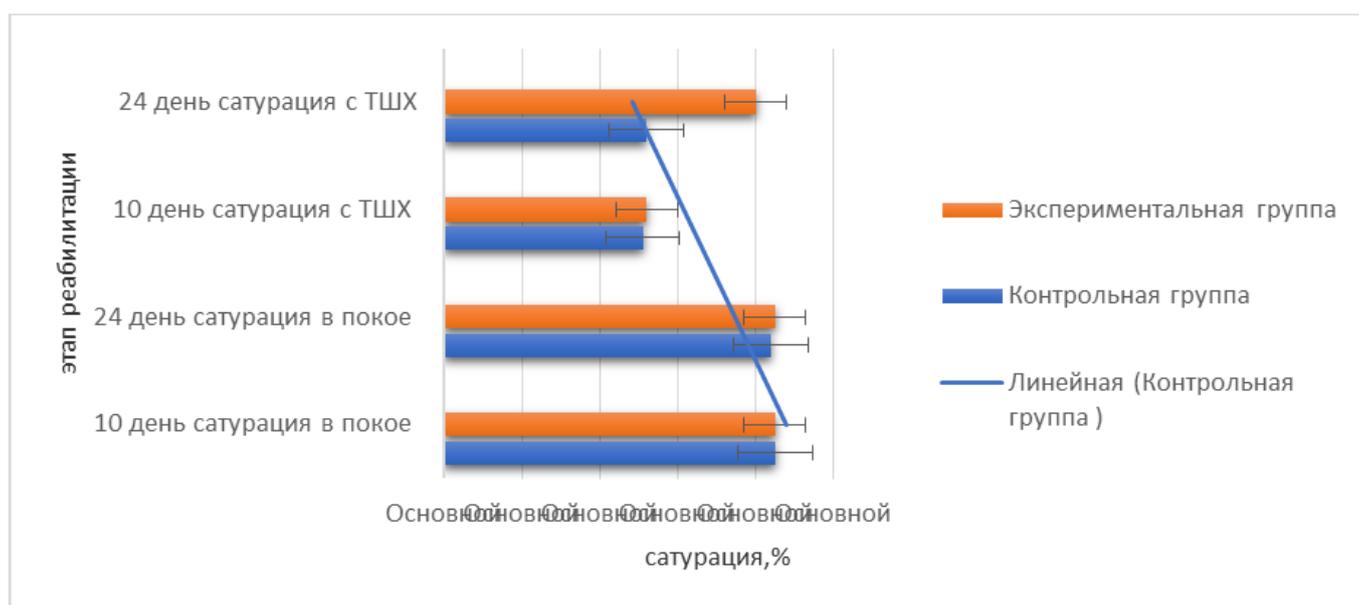


Рисунок 3 – Динамика сатурации кислорода в крови у пациентов, подвергшихся КШ в зависимости от метода выполнения дыхательной гимнастики

Учитывая, что особенности кровообращения пациента в значительной степени могут быть обусловлены функциональным состоянием как системы кроветворения в целом, так и качественными и количественными характеристиками картины периферической крови, были проанализированы результаты гематологических исследований (таблица 3) и сопоставлены с изменениями системы внешнего дыхания.

Адаптация системы внешнего дыхания и крови отражалась в ком-

плексе показателей в группах, который характеризуется как проявление компенсаторно-приспособительных реакций [13-15], выражающихся в пониженной концентрации гемоглобина и эритроцитов в ранние сроки после операции, в защитной и регенеративной функции лейкоцитов и активизацией свертывающей системы крови, что объясняется травматическим действием искусственного кровообращения и кровотечением (потери крови) (таблица 1).

Таблица 3 – Гематологические показатели пациентов, подвергшихся КШ в зависимости от метода выполнения дыхательной гимнастики, М±SD

Параметры	Контрольная группа n=28 мужчин /n=7женщин		Основная группа n=30мужчин /n=8женщин		p<0,05
	Исходно (1)	Перед вы- пиской (2)	Исходно (3)	Перед выпис- кой (4)	
Гемоглобин (HGB), г/л	<b>116,500</b> ± <b>21,072</b> / 107±13,221	<b>122±11,346</b> / 107±11,584	<b>116,500±17,901</b> / 107±9,393	<b>140±17,129</b> /107±7,743	<b>p2-4=</b> <b>0,031</b> /p2-4 =0,589
Эритроциты (RBC) 10 <sup>12</sup> /л	<b>3,890±0,696</b> /3,530± 0,422	<b>4,03±0,441</b> /3,720± 0,345	<b>3,77±0,586</b> /3,690± 0,279	<b>4,380±0,584</b> /3,690± 0,358	<b>p2-4</b> <b>=0,070</b>  /p2-4 =0,103
Лейкоциты (WBC), 10 <sup>9</sup> / л	<b>8,050±2,787</b> /8,9±2,47	<b>7±2,272</b> /8,8±2,27	<b>8,75±1,367</b> /8,5±1,178	<b>8,5±2,317</b> /7,90±1,60	<b>p2-4</b> <b>=0,161</b> /p2-4 =0,50
Тромбоциты (PLT), 10 <sup>9</sup> /л	<b>204±59,114</b> /282±67,622	<b>358±86,803</b> /264±55,0	<b>248±76,502</b> /271±93,936	<b>292,5±106,922</b> /273±185,464	<b>p2-4</b> <b>=0,025</b> /p2-4 =0,50
Гематокрит (HCT),%	<b>35,35±5,751</b> /32,5±3,789	<b>34,6±4,695</b> /33,1±3,03	<b>35,1±4,579</b> /32,9±2,294	<b>35,1±5</b> /34,65±2,077	<b>p2-4</b> <b>=0,795</b> /p2-4 =0,715

Отмечено улучшение кислородтранспортной способности крови, отраженное в динамике концентрации гемоглобина, на фоне достоверно разрешившихся бронхолегочных осложнений в основной группе (рисунок 1, рисунок 3 концентрации гемоглобина в эритроцитах затрудняет трансмембранный обмен кислорода в тканях, ведет к симптомам тканевой гипоксии и снижению парциального давления кислорода в крови (рисунок 3, таблица 3).

**Заключение.** Таким образом, нарушение работы дыхания при одновременном действии неблагоприятных

факторов хирургического вмешательства уже через непродолжительное время приводит к выраженной степени напряжения и десинхронизации как системы внешнего дыхания, так и гематологических показателей (рисунок 2, таблица 3), что подтверждается данными литературы [1-4; 13-20]. Одним из механизмов развития динамической десинхронизации системы внешнего дыхания является снижение энергообразования и энергообеспечения, что ведет к уменьшению потенциальной функциональной активности аппарата внешнего дыхания.

Структурной основой специфических методов физической тренировки являются два компонента – нагрузка и отдых, от соотношения которых в целом зависят двигательные возможности данной категории пациентов. Дыхательные упражнения, расчлененные на отдельные фазы и элементы, разучиваются поочередно и последовательно объединяются в целостное движение.

Совершенствование выполнения упражнений в дальнейшем происходит при расширении двигательного режима, не нарушая основу техники полного правильного дыхания. Использование метода расчлененно-конструктивного упражнения повышает эффективность респираторной реабилитации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Список литературы

1. Пономарев, Д. Н. Нарушения функции внешнего дыхания и их влияние на клинический исход у кардиохирургических пациентов. / Д. Н. Пономарев О. В. Каменская, А. С. Клинова [и др.] // Вестник анестезиологии и реаниматологии. – 2016. – №6. – С. 4-12.

2. Реабилитация в отделении реанимации и интенсивной терапии (РеабИТ) : Методические рекомендации Союза реабилитологов России и Федерации анестезиологов и реаниматологов. // Вестник интенсивной терапии им. А.И. Салтанова. – 2022. – № 2. – С. 7-40. DOI:10.21320/1818-474X-2022-2-7-40

3. Баздырев, Е. Д. Моделирование риска развития респираторных осложнений у пациентов с ишемической болезнью сердца, подвергшихся коро-

нарному шунтированию / Е. Д. Баздырев, О. М. Поликутина, Ю. С. Слепынина [и др.] // Пульмонология. – 2018. – Т. 28. – №2. – С. 200-210.

4. Сегизбаева, М. О. Оценка функционального состояния дыхательных мышц: методические аспекты и интерпретация данных / М. О. Сегизбаева, Н. П. Александрова // Физиология человека. – 2019. – Т.45. – № 2. – С.115-127.

5. Van Paassen, J. Leucocyte and platelet activation in cardiac surgery patients with and without lung injury: A prospective cohort study / Van Paassen J., De Graaf-Dijkstra A., Brunsveld-Reinders A.H., De Jonge E., Klautz R.J.M., Tsonaka R., Zwaginga J.J., Arbous M.S. // Interdiscip Cardiovasc Thorac Surg. – 2023. – №36 (5). – DOI: 10.1093/icvts/ivad062.

6. Margraf, A. Immune Cell Plasticity in Inflammation: Insights into Description and Regulation of Immune Cell Phenotypes / A. Margraf, M. Perretti // Cells. – 2022. – №11 (11):1824. – DOI: 10.3390/cells11111824 PMID: 35681519; PMCID: PMC9180515.

7. Бокерия, Л. А. Российские клинические рекомендации Коронарное шунтирование больных ишемической болезнью сердца: реабилитация и вторичная профилактика / Л. А. Бокерия, Д. М. Аронов // CardioСоматика. – 2016. – Т. 7. – №. 3-4. – С. 5-71.

8. Патент 2817090 Рос. Федерация МПК А61Н 1/00 (2006.01). Способ выполнения дыхательной гимнастики после кардиохирургической операции / О. Л. Барбараш, Н. Б. Лебедева, С. А. Помешкина, Н. В. Архипова; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сер-

дечно-сосудистых заболеваний» (НИИ КПССЗ) (RU) № 2023101047, заявл. 18.01.23, опубл. 09.04.24, Бюл. № 10.

9. Дубровский, В. И. Биомеханика: учебник для вузов / В. И. Дубровский, В. Н. Федорова. – Москва : Издательство ВЛАДОС-ПРЕСС», 2003. ISBN 5-305-00101-3

10. Суслов, Ф. П. Спортивная тренировка в условиях среднегорья / Ф. П. Суслов, Е. Б. Гиппенрейтер, Ж. К. Холодов. – Москва : 1999. – С. 202.

11. Миняева, А. В. Реакции торакального и абдоминального компонентов дыхания человека на прогрессирующую гиперкапнию и мышечную работу и их особенности, обусловленные положением тела в пространстве: диссертация кандидата биологических наук: 03.00.13 / Арина Владимировна Миняева. – Тверь. – 1996. – С.120.

12. Giuriato G. The effect of the load on the chest wall on the perception of fatigue, exercise, pulmonary function and muscle perfusion. /Giuriato G., Gundersen A., Verma S., Pelletier E., Bakewell B., Yves S.J. //Sport (Basel). – 2020. № 8 (1): 3. DOI: 10.3390/sports8010003.

13. Миняев, В. И. Особенности функциональных взаимоотношений систем дыхания и кровообращения в условиях дыхания с добавочным сопротивлением / В. И. Миняев, Р. А. Калашникова, К. Г. Кичатов [и др.] // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. 2013. – Т. 29. – № 2. – С. 195-210.

14. Чарная, М. А. Метаболизм миокарда при операциях в условиях параллельного искусственного кровообращения / М. А. Чарная, Ю. А. Морозов, В. В. Урюжников [и др.] // Вестник анестезиологии и реаниматологии.

– 2013. – №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metabolizm-miokarda-pri-operatsiyah-v-usloviyah-parallelnogo-iskusstvennogo-krovoobrascheniya> (дата обращения: 03.04.2025).

15. Хайбуллина, З. Р. Состояние периферической крови при острой гипоксии в эксперименте / З. Р. Хайбуллина, Н. Т. Вахидова // Медицина : вызовы сегодняшнего дня: материалы I Междунар. науч. конф. (г. Челябинск, июнь 2012 г.). – Челябинск : Два комсомольца. – 2012. – С. 24-29. URL: <https://moluch.ru/conf/med/archive/52/1636/> (дата обращения: 21.04.2025).

16. Otto, J. M. Hemoglobin concentration and mass as determinants of exercise performance and surgical outcome / J. M. Otto, H. E. Montgomery and T. Richards // Extrem Physiol Med 2, 33 (2013). DOI: 10.1186/2046-7648-2-33.

17. Shenoy, M. A. Pulmonary Rehabilitation. /Shenoy MA, Paul V. //2023 Jul 25. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan-. PMID: 33085313.

18. Ríos-Castro, F. Respiratory drive, inspiratory effort, and work of breathing: review of definitions and non-invasive monitoring tools for intensive care ventilators during pandemic times. /Ríos-Castro F, González-Seguel F, Molina J. //Medwave. 2022 Apr 29;22(3):e8724. Spanish, English. doi: 10.5867/medwave.2022.03.002550. PMID: 35507808.

19. Chan, J. S. The effect of inspiratory muscle training and detraining on the respiratory metaboreflex. /Chan JS, Mann LM, Doherty CJ, Angus SA, Thompson BP, Devries MC, Hughson RL, Dominelli PB. // Exp Physiol. 2023 Apr;108(4):636-649. doi: 10.1113/EP090779.

20. Rhodes, C. E. Physiology, Oxygen Transport. /Rhodes CE, Denault D, Varacallo MA. //2022 Nov 14. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan-. PMID: 30855920.

## References

1. Ponomarev, D. N. Narusheniya funktsii vneshnego dyhaniya i ih vliyanie na klinicheskij iskhod u kardiohirurgicheskikh pacientov. / D. N. Ponomarev O. V. Kamenskaya, A. S. Klinkova [i dr.] //Vestnik anesteziologii i reanimatologii. – 2016. – №6. – S. 4-12.

2. Reabilitaciya v otdelenii reanimacii i intensivnoj terapii (ReabIT) : Metodicheskie rekomendacii Soyuza reabilitologov Rossii i Federacii anesteziologov i reanimatologov. // Vestnik intensivnoj terapii im. A.I. Saltanova. – 2022. – № 2. – S. 7-40. DOI:10.21320/1818-474X-2022-2-7-40

3. Bazdyrev, E. D. Modelirovanie riska razvitiya respiratornyh oslozhnenij u pacientov s ishemicheskoj bolezn'yu serdca, podvergshihsia koronarnomu shuntirovaniyu / E. D. Bazdyrev, O. M. Polikutina, Yu. S. Slepynina [i dr.] // Pul'monologiya. –2018. –T. 28. – №2. – S. 200-210.

4. Segizbaeva, M. O. Ocenka funkcional'nogo sostoyaniya dyhatel'nyh myshc: metodicheskie aspekty i interpretaciya dannyh / M. O. Segizbaeva, N. P. Aleksandrova //Fiziologiya cheloveka. – 2019. – T.45. – № 2. – S.115-127.

5. Van Paassen, J. Leucocyte and platelet activation in cardiac surgery patients with and without lung injury: A prospective cohort study /Van Paassen J, De Graaf-Dijkstra A, Brunsveld-Reinders AH, De Jonge E, Klautz RJM, Tsonaka R, Zwaginga JJ, Arbous MS.//Interdiscip

Cardiovasc Thorac Surg. – 2023. №36(5). ivad062. – DOI: 10.1093/icvts/ivad062.

6. Margraf, A. Immune Cell Plasticity in Inflammation: Insights into Description and Regulation of Immune Cell Phenotypes / A. Margraf, M. Perretti // Cells. – 2022. – №11 (11) :1824. – DOI: 10.3390/cells11111824 PMID: 35681519; PMCID: PMC9180515.

7. Bokeriya, L. A. Rossijskie klinicheskie rekomendacii Koronarnoe shuntirovanie bol'nyh ishemicheskoj bolezn'yu serdca: reabilitaciya i vtorichnaya profilaktika / L. A. Bokeriya, D. M. Aronov // CardioSomatika. – 2016. – T. 7. – №. 3-4. – S. 5-71.

8. Patent 2817090 Ros. Federaciya MPK A61H 1/00 (2006.01). Sposob vypolneniya dyhatel'noj gimnastiki posle kardiohirurgicheskoy operacii / O. L. Barbarash, N. B. Lebedeva, S. A. Pomeshkina, N. V. Arhipova; patentoobladatel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe nauchnoe uchrezhdenie «Nauchno-issledovatel'skij institut kompleksnyh problem serdechno-sosudistyh zabolevanij» (NII KPSSZ) (RU) № 2023101047, zayavl. 18.01.23, opubl. 09.04.24, Byul. № 10.

9. Dubrovskij, V. I. Biomekhanika: uchebnik dlya vuzov / V. I. Dubrovskij, V. N. Fedorova. – Moskva : Izdatel'stvo VLADOS-PRESS», 2003. ISBN 5-305-00101-3

10. Suslov, F. P. Sportivnaya trenirovka v usloviyah srednegor'ya / F. P. Suslov, E. B. Gippenrejtser, Zh. K. Holodov. – Moskva : 1999. – C. 202.

11. Minyaeva, A. V. Reakcii torakalnogo i abdominal'nogo komponentov dyhaniya cheloveka na progressiruyushchuyu giperkapniyu i myshechnuyu rabotu i ih osobennosti, obuslovlennye polozheniem tela v prostranstve: dis-

sertaciya kandidata biologicheskikh nauk: 03.00.13. – Tver'. – 1996. – C.120.

12. Giuriato G. The effect of the load on the chest wall on the perception of fatigue, exercise, pulmonary function and muscle perfusion. /Giuriato G., Gundersen A., Verma S., Pelletier E., Bakewell B., Yves S.J. //Sport (Basel). – 2020. № 8 (1): 3. DOI: 10.3390/sports8010003.

13. Minyaev, V. I. Osobennosti funkcional'nyh vzaimootnoshenij sistem dyhaniya i krovoobrashcheniya v usloviyah dyhaniya s dobavochnym soprotivleniem / V. I. Minyaev, R. A. Kalashnikova, K. G. Kichatov [i dr.] // Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya i ekologiya. 2013. –T. 29. –№ 2. – S. 195-210.

14. Charnaya, M. A. Metabolizm miokarda pri operatsiyah v usloviyah parallel'nogo iskusstvennogo krovoobrashcheniya / M. A. Charnaya, Yu. A. Morozov, V. V. Uryuzhnikov [i dr.] // Vestnik anesteziologii i reanimatologii. – 2013. – №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metabolizm-miokarda-pri-operatsiyah-v-usloviyah-parallel'nogo-iskusstvennogo-krovoobrascheniya> (data obrashcheniya: 03.04.2025).

15. Hajbullina, Z. R. Sostoyanie perifericheskoy krovi pri ostroj gipoksii v eksperimente / Z. R. Hajbullina, N. T. Vahidova // Medicina: vyzovy segodnyashnego dnya: materialy I Mezhdunar. nauch. konf. (g. Chelyabinsk, iyun' 2012 g.). – Chelyabinsk: Dva komsomol'ca. – 2012. – S. 24-29. URL:

<https://moluch.ru/conf/med/archive/52/1636/> (data obrashcheniya: 21.04.2025).

16. Otto, J. M. Hemoglobin concentration and mass as determinants of exercise performance and surgical outcome / J. M. Otto, H. E. Montgomery and T.Richards // Extrem Physiol Med 2, 33 (2013). DOI: 10.1186/2046-7648-2-33.

17. Shenoy MA. Pulmonary Rehabilitation. /Shenoy MA, Paul V. //2023 Jul 25. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan–. PMID: 33085313.

18. Ríos-Castro, F. Respiratory drive, inspiratory effort, and work of breathing: review of definitions and non-invasive monitoring tools for intensive care ventilators during pandemic times. /Ríos-Castro F, González-Seguel F, Molina J. //Medwave. 2022 Apr 29;22(3):e8724. Spanish, English. doi: 10.5867/medwave.2022.03.002550. PMID: 35507808.

19. Chan, J. S. The effect of inspiratory muscle training and detraining on the respiratory metaboreflex. /Chan JS, Mann LM, Doherty CJ, Angus SA, Thompson BP, Devries MC, Hughson RL, Dominelli PB. // Exp Physiol. 2023 Apr;108(4):636-649. doi: 10.1113/EP090779. Epub 2023 Feb 8. PMID: 36754374; PMCID: PMC10103864.

20. Rhodes, C. E. Physiology, Oxygen Transport. /Rhodes C. E., Denault D., Varacallo M. A. //2022 Nov 14. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan–. PMID: 30855920.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Архипова Наталья Викторовна** – соискатель кафедры спортивной медицины и физической реабилитации, Уральский государственный университет физической культуры, Челябинск, Россия.

Инструктор-методист лечебной физкультуры, Отделение медицинской реабилитации взрослых для пациентов с соматическими заболеваниями ФГБНУ «НИИ Комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний» Министерства науки и высшего образования РФ. 650002, Кемеровская область, город Кемерово, б-р Имени Академика Л.С. Барбараша, стр. 6 г. Эл. почта: [arkhipova.natali@list.ru](mailto:arkhipova.natali@list.ru)

Научный руководитель:

**Быков Евгений Витальевич** – доктор медицинских наук, профессор, зав. кафедрой спортивной медицины и физической реабилитации, Уральский государственный университет физической культуры, Челябинск, Россия.

454091, г. Челябинск, ул. Орджоникидзе, 1.

Телефон: 8(351)2170358.

Эл. почта: [bykovev@uralgufk.ru](mailto:bykovev@uralgufk.ru).

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Arkhipova Natalia V.** – Candidate of the Department of Sports Medicine and Physical Rehabilitation, Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, Russia.

Teacher-methodologist of physical therapy at the Department of Medical Rehabilitation of Adult Patients with Somatic Diseases of the Federal State Budgetary Institution "Scientific Research Institute of Complex Problems of Cardiovascular Diseases" of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. +7 3842 34-55-86 650002, Kemerovo region, Kemerovo, b-r named after academician L.S. Barbarash, p. 6 .

E-mail: [arkhipova.natali@list.ru](mailto:arkhipova.natali@list.ru)

Scientific supervisor:

**Bykov Evgeniy V.** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Vice-Rector for Research, Head of the Department of Sports Medicine and Physical Rehabilitation, Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, Russia.

Ordzhonikidze str., 1, Chelyabinsk, 454091.

Phone: 8(351)2170358.

E-mail: [bykovev@uralgufk.ru](mailto:bykovev@uralgufk.ru)