



Эффективность совершенствования координационных способностей в коррекции расстройств биомеханики дыхания после кардиохирургической операции: обзор литературы

Архипова Н.В.^{1,*}, Помешкина С.А.¹, Быков Е.В.²

¹ ФГБНУ «НИИ Комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний» Минобрнауки России, Кемерово, Россия

² ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет физической культуры», Челябинск, Россия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Бронхолегочные осложнения остаются ведущей причиной послеоперационной заболеваемости после открытой операции на сердце и удлиняют пребывание пациента в стационаре, повышая стоимость лечения.

ЦЕЛЬ. Изучить эффективность использования координационных тренировок механики дыхательных движений в кардиореабилитационных программах при занятиях дыхательной гимнастикой.

СТРАТЕГИЯ ПОИСКА. Посредством поиска литературы в поисковых системах PubMed (Medline) и РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) с января 2019 г. по декабрь 2023 г. были отобраны систематические обзоры, метаанализы и рандомизированные контролируемые исследования факторов, влияющих на развитие послеоперационных легочных осложнений после открытых операций на сердце с искусственным кровообращением, а также методов поведенческой регуляции и обучения самоуправлению дыханием в сердечно-легочной реабилитации для оценки эффективности снижения количества легочных осложнений и их выраженности по сравнению с обычными методами респираторной кардиореабилитации.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ОБЗОРА. После кардиохирургических операций у пациентов наблюдается снижение координационных взаимодействий в работе инспираторных мышц грудной клетки, что требует улучшения координационных способностей. Проиллюстрированы особенности компенсаторных изменений системы внешнего дыхания после коррекции координационных взаимодействий дыхательных мышц в процессе респираторно-кардиологической реабилитации, а именно в увеличении альвеолярной вентиляции, вследствие совершенствования оптимальных соотношений грудного и брюшного типов дыхания, оптимальных синхронных и кратных соотношений числа дыхательных и двигательных циклов, его частоты и глубины, более высокий коэффициент полезного действия дыхательных мышц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. После прохождения курса координационных тренировок, в ходе которых развивались навыки управления своим дыханием, у пациентов, перенесших открытые операции на сердце с искусственным кровообращением, наблюдалась меньшая выраженность и частота встречаемости послеоперационных бронхолегочных осложнений, улучшение насыщения крови кислородом и повышение толерантности к физическим нагрузкам по сравнению с традиционными методами лечебной физкультуры, при этом наиболее выраженные изменения наблюдаются при воздействии методов поведенческой регуляции дыхания. Полученные результаты изменения функции внешнего дыхания позволяют оценить воздействие координационной подготовки по управлению своим дыханием как благоприятное для профилактики и реабилитации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: коронарное шунтирование, искусственное кровообращение, ишемическая болезнь сердца, кардиореабилитация, дыхательная гимнастика, регуляция дыхания.

Для цитирования / For citation: Архипова Н.В., Помешкина С.А., Быков Е.В. Эффективность совершенствования координационных способностей в коррекции расстройств биомеханики дыхания после кардиохирургической операции: обзор литературы. Вестник восстановительной медицины. 2024; 23(3):52-60. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-52-60> [Arkhipova N.V., Pomeshkina S.A., Bykov E.V. Effectiveness of Improving Coordination Abilities after Cardiac Surgery: a Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2024; 23(3):52-60. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-52-60> (In Russ.)]

* **Для корреспонденции:** Архипова Наталья Викторовна, E-mail: arkhipova.natali@list.ru, reception@kemcardio.ru

Статья получена: 14.02.2024
Статья принята к печати: 20.05.2024
Статья опубликована: 17.06.2024

Effectiveness of Improving Coordination Abilities after Cardiac Surgery: a Review

 Natalya V. Arkhipova^{1,*},  Svetlana A. Pomeschkina¹, Evgeniy V. Bykov²

¹ Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases, Kemerovo, Russia

² Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Bronchopulmonary complications remain the leading cause of postoperative morbidity and prolong the patient's hospital stay, increasing the cost of treatment.

AIM. To study the effectiveness of using coordination training of the mechanics of respiratory movements in cardiac rehabilitation programs during breathing exercises.

SEARCH STRATEGY. Through a literature search in the PubMed (Medline) and RISC search engines from January 2019 to December 2023, systematic reviews, meta-analyses and randomized controlled studies were selected of factors influencing the development of postoperative pulmonary complications after open heart surgery with cardiopulmonary bypass, as well as methods behavioral regulation and self-breathing training in cardiopulmonary rehabilitation to assess the effectiveness of reducing the number of pulmonary complications and their severity compared to conventional methods of respiratory cardiac rehabilitation.

MAIN CONTENT. Based on an analysis of the literature, it has been suggested that after cardiac surgery, patients experience a decrease in coordination interactions in the work of the inspiratory muscles of the chest, which requires improvement in coordination abilities. The features of compensatory changes in the external respiration system after correction of the coordination interactions of the respiratory muscles in the process of respiratory-cardiac rehabilitation are illustrated, namely in increasing alveolar ventilation due to the improvement of the optimal ratios of thoracic and abdominal types of breathing, optimal synchronous and multiple ratios of the number of respiratory and motor cycles, its frequency and depth, higher efficiency of the respiratory muscles.

CONCLUSION. The research results indicate that after completing a course of coordination training, where they developed the skills and abilities to control their breathing, patients who underwent open heart surgery with artificial circulation had a lower severity and incidence of postoperative bronchopulmonary complications, improved blood oxygen saturation and increased tolerance to physical activity compared to traditional methods of physical therapy, while the most pronounced changes are observed under the influence of methods of behavioral regulation of breathing. The obtained results of changes in the function of external respiration make it possible to evaluate the impact of coordination training to control one's breathing as beneficial for prevention and rehabilitation.

KEYWORDS: coronary bypass surgery, artificial circulation, coronary heart disease, cardiac rehabilitation, breathing exercises, breathing regulation.

For citation: Arkhipova N.V., Pomeschkina S.A., Bykov E.V. Effectiveness of Improving Coordination Abilities after Cardiac Surgery: a Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2024; 23(3):52-60. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2024-23-3-52-60>

* **For correspondence:** Natalya V. Arkhipova, E-mail: arkhipova.natali@list.ru, eception@kemcardio.ru

Received: 14.02.2024

Accepted: 20.05.2024

Published: 17.06.2024

ВВЕДЕНИЕ

По данным Всемирной организации здравоохранения, по-прежнему наибольшее количество среди ведущих причин смертности занимают сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ). Первую позицию удерживает ишемическая болезнь сердца (ИБС) при острой форме (инфаркт миокарда, нестабильная стенокардия) и ее осложнения [1, 2]. Распространенным методом снижения смертности при гемодинамически значимом поражении коронарного русла является хирургическая операция реваскуляризации миокарда — коронарное шунтирование (КШ), что обуславливает развитие мер дальнейшей профилактики и реабилитации пациентов с ССЗ [3, 4].

Как известно, компоненты физической реабилитации (ходьба, велотренировки, гимнастические упражнения) широко применяются в кардиореабилитации [4]. После КШ использование физической реабилитации ориентировано на восстановление сердечно-сосудистой системы — улучшение коронарного и миокардиального резерва, позитивное воздействие на корриги-

руемые факторы риска прогрессирования ССЗ (гиподинамию, артериальную гипертензию, дислипидемию, гипергликемию, ожирение). Однако нерешенными остаются отдельные вопросы, связанные с послеоперационными бронхолегочными осложнениями [5].

По данным литературы, у пациентов, подвергшихся КШ в условиях искусственного кровообращения (ИК), формируются гиповентиляционные нарушения рестриктивного типа как внутрилегочной (пневмония, ателектаз), так и внелегочной (ограничение экскурсий грудной клетки при плевральных выпотах, дисфункция диафрагмы) формы, приводящие к расстройству биомеханики дыхания за счет уменьшения способности легких растягиваться во время инспирации, сопровождающегося вентиляционными нарушениями [6, 7]. Бронхолегочные осложнения — последствия анестезии и хирургической травмы, усугубляются при наличии у пациента таких факторов риска, как, например, хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ), пожилой возраст, курение [8].

Использование реабилитационных мероприятий значительно снижает количество данных осложнений и уменьшает их выраженность [9]. Однако, несмотря на имеющиеся методики дыхательной гимнастики, эффективность их недостаточна [5]. В поисках повышения результативности имеющихся программ реабилитации активно используются различные персонифицированные подходы к пациенту с учетом его особенностей. В последние годы широко применяется методика развития различных навыков координации движений, в том числе в регуляции дыхания [10]. Эффективность методики управления дыханием у пациентов после открытых операций на сердце мало изучена.

Принято считать, что реакция компенсаторных ответов дыхательной системы на уменьшение способности легких растягиваться обеспечивается рецепторным влиянием от механорецепторов легких, рецепторов грудной клетки и плевры, проприорецепторами дыхательных межреберных мышц и диафрагмы, которые через центральный регулятор оказывают влияние на внешнее дыхание [11, 12]. Кроме того, в адаптивные реакции функции дыхания значительный вклад вносят и кортикальные влияния, о чем свидетельствуют психофизиологические исследования [13]. Особенно наглядно роль коры головного мозга проявляется в произвольном управлении дыханием [14, 15].

Таким образом, обоснование разработки новых методик респираторной реабилитации, повышающих реабилитационный потенциал у пациентов в ранние сроки после открытых операций на сердце, весьма актуально для решения практических вопросов кардиореабилитации.

СТРАТЕГИЯ ПОИСКА

Анализ результатов ранее опубликованных метаанализов, систематических обзоров и рандомизированных контролируемых исследований (РКИ), отражающих эффективность реабилитационных мероприятий в послеоперационном периоде в кардиохирургии, применяемых для снижения количества легочных осложнений и уменьшению их выраженности.

В поисковой системе по биомедицинским исследованиям PubMed (MEDLINE) и в РИНЦ был произведен поиск статей, опубликованных в период с 2019 по 2023 г. Этот период был выбран вследствие возросшего интереса в мире к вопросам респираторной реабилитации из-за распространения коронавируса SARS-CoV-2 и нерешенных проблем кардиореабилитации, связанных с послеоперационными легочными осложнениями [5, 16, 17]. Для поиска по медицинским предметным рубрикам (MeSH) использовались следующие термины: «коронарное шунтирование в условиях искусственного кровообращения», «коронарное шунтирование/bronхолегочные осложнения», «коронарное шунтирование/когнитивные нарушения», «когнитивные расстройства/методы сердечно-легочной реабилитации».

Результаты были ограничены опубликованными рандомизированными клиническими исследованиями, в которых сравнивались два различных вида вмешательства в лечении послеоперационных легочных осложнений после открытой операции на сердце, а также анализировалось влияние респираторных методов реабилитации на когнитивные функции.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ОБЗОРА

1. Причины возникновения бронхолегочных осложнений при операциях на сердце

В настоящее время накоплен значительный научный материал, свидетельствующий о проблеме легочных осложнений у пациентов, перенесших операцию КШ, таких как нозокомиальная вентилятор-ассоциированная пневмония (связанная с нахождением на искусственной вентиляции легких [ИВЛ]), пневмоторакс, трахеобронхит, гидроторакс, диафрагмальная дисфункция, которые становятся причиной неблагоприятного исхода хирургического лечения при усугублении дыхательной недостаточности [18, 19]. Распространенность осложнений, приводящих к увеличению расходов и сроков лечения в стационаре, варьирует от 7,6 до 20 % в различных кардиохирургических центрах [20, 21]. Причины послеоперационных дыхательных расстройств взаимосвязаны с недостатками метода реваскуляризации миокарда на остановленном сердце в условиях ИК, со стернотомией, с проведением общей анестезии, ИВЛ [22–24], предоперационными (возраст, предоперационная легочная гипертензия, интраоперационное повреждение диафрагмального нерва) и интраоперационными факторами риска [25–28].

Так, в исследованиях Ярошецкого А.И. и др. (2020) показано, что крупное оперативное вмешательство на сердце с ИК не исключает появления синдрома системного воспалительного ответа (systemic inflammatory response syndrome, SIRS) и его неблагоприятных физиологических эффектов в работе органов и систем. Основные участники запуска SIRS — нейтрофилы, макрофаги, фактор некроза опухоли, интерлейкины-1, -2, -6, -8. Катализаторами SIRS являются хирургическая травма, контакт крови с небиологическими материалами в узлах аппарата ИК. Предполагается, что система дыхания одна из первых вовлекается в SIRS в виде постперфузионного синдрома (post-pump syndrome, PPS) [23].

Был описан рост частоты повреждения диафрагмального нерва после кардиохирургической операции [25]. Проведенные исследования показали, что это осложнение связано с холодовым повреждением во время защиты миокарда при кардиохирургических операциях или при артериотомии молочной железы. По данным авторов, это может вызвать дисфункцию диафрагмы и респираторные осложнения (ателектаз и/или консолидацию легкого).

Согласно данным литературы, причиной патофизиологии внешнего дыхания может выступать стернотомия [26, 27]. Увеличение жесткости грудной стенки, отек клетчатки средостения, а также ригидность ребер и межреберных мышц в сочетании с ожирением приводят к сдавлению альвеол извне (отрицательному транспульмональному давлению на выдохе) и нарушению альвеолярной вентиляции [28].

Не исключается возникновение легочных осложнений при использовании ИВЛ в раннем послеоперационном периоде в реанимационном отделении. Так, в исследовании Овсянникова Р.Ю. и др. (2022) сравнивались альтернативные методы, снижающие побочные эффекты вентиляционно-перфузионного сопряжения, и современные подходы к ИВЛ [29]. Нарушение гемодинамики легких, повреждение легких давлением,

пневмония, диафрагмальная дисфункция по-прежнему зависят от воздействия ИВЛ на организм [30]. Установлено, что в условиях неэффективных сокращений диафрагмы соответствующая норме вентиляция легких невозможна без реципрокных взаимодействий в работе инспираторных мышц грудной клетки [31]. По данным научных исследований, нарушение координированных взаимоотношений между группами дыхательных мышц приводит к изменению биомеханики дыхания, вызывает парадоксальные движения грудной клетки и живота, значительно снижает эффективность работы дыхательной мускулатуры [32].

2. Роль регуляции дыхания в раннем послеоперационном периоде в развитии респираторных осложнений

Реакция компенсаторных ответов дыхательной системы на уменьшение способности легких растягиваться обеспечивается рецепторным влиянием от механорецепторов легких, рецепторов грудной клетки и плевры, проприорецепторами дыхательных межреберных мышц и диафрагмы, которые через центральный регулятор оказывают влияние на внешнее дыхание [32, 33]. Расстройство взаимосвязи вентиляционно-перфузионных сопряжений со стороны легких, грудной клетки, дыхательной мускулатуры и регуляторных механизмов под влиянием различных сочетаний интраоперационных и постоперационных факторов влечет за собой напряжение адаптационных механизмов. В исследовании O'Donnell D.E. et al. (2020) показано, что возникновение потоков афферентной импульсации болевой, психогенной, хеморецепторной, проприорецепторной хаотической афферентации приводит к дезинтеграции автоматической и произвольной регуляции дыхания и нарушению биомеханики дыхания [33], ограничению дыхательных движений, снижению должной амплитуды, ритма, мощности и согласованности работы мышечных групп, дискоординации отдельных элементов, вследствие чего, помимо временной поддержки ИВЛ, требует применения комплексной программы реабилитации [34].

3. Проблемы применения легочной реабилитации после операций на сердце

В проведенных исследованиях показано снижение частоты послеоперационных бронхолегочных осложнений (ателектаз, гидроторакс, пневмония) при включении в реабилитационные мероприятия дыхательного тренинга [35, 36]. Основными задачами респираторной реабилитации являются нормализация системы внешнего дыхания, развитие силы и выносливости дыхательных мышц, увеличение легочных объемов, коррекция патологических сдвигов (улучшение отхождения мокроты, ликвидация дисателектазов, нормализация вентиляционно-перфузионных соотношений) [16–18].

Публикации, посвященные влиянию респираторной реабилитации после кардиохирургической операции, свидетельствуют об увеличении силы и выносливости дыхательных мышц после дыхательного тренинга [9, 35]. После дыхательных тренировок установлено увеличение толерантности к физической нагрузке (ТФН), снижение частоты развития заболеваний легких и сокращение сроков пребывания в стационаре [36, 37].

Однако, независимо от того, что большинство работ, посвященных респираторной реабилитации больных ИБС через год после операции КШ, свидетельствуют о повышении физической активности по сравнению с дооперационным уровнем, представлен ряд проблем, связанных с достижением максимального эффекта в профилактике бронхолегочных осложнений [5, 38].

В настоящее время во вторичной профилактике разрабатываются программы респираторной кардиореабилитации развивается во многих направлениях, с применением разных подходов. Так, к методам респираторной кардиореабилитации относят тренировку полного глубокого дыхания, тренировку локального дыхания для повышения вентиляционной способности отдельных участков легких (грудное, диафрагмальное дыхание), «звуковую» гимнастику, способствующую тренировке удлиненного выдоха путем произнесения шипящих звуков, тренировку откашливания [39]. Имеются данные об инструментальных методах направленного воздействия на дыхательную функцию при помощи дыхательных тренажеров (Threshold; Portex (Smiths Medical) Coach 2 Incentive Spirometer) [37].

Вместе с тем недостаточно проанализированы возможности коррекции легочных осложнений методом поведенческой регуляции, а также механизмы обучения.

Так, к числу центральных проблем кардиореабилитации, имеющих большое практическое значение, относится коррекция послеоперационной когнитивной дисфункции. Установлено, что пациенты после КШ в условиях ИК в раннем послеоперационном периоде медленнее осваивают сложные движения, так как многие частные проявления координационных способностей опираются на сохранность интеллекта, продуктивность психических процессов (ощущений, восприятия, памяти, мышления, способность регулировать эмоциональное состояние) [40–42], расстройство которых развивается в 2–3 раза чаще при использовании стандартного метода КШ с ИК.

Биологической основой координационных способностей являются свойства нервной системы (сила процесса возбуждения и торможения, уравновешенность нервной системы, подвижность нервных процессов), сенсорные системы (зрительная, слуховая) и их сохранность, соматосенсорные реакции (прикосновение, боль, проприорецепция) и вестибулярный отклик, продуктивность психических процессов (внимание, память, мышление), а также психологические особенности (темперамент, характер, способности) [38, 43]. Таким образом, координационные способности определяются теми патофизиологическими и психическими функциями, которые у пациентов, подвергшихся КШ в условиях ИК, имеют различные отклонения в состоянии и поведении (в дисфункции памяти, внимания, нейродинамики), что затрудняет освоение сложно координированных двигательных действий [44].

Точные механизмы послеоперационной когнитивной дисфункции остаются неясными. В ряде научных исследований было показано, что ИК вызывает значительные изменения микрососудистой реактивности, часто влекущие за собой воспаление, церебральную гипоперфузию и церебральную микроэмболию [45–48].

4. Эффективность поведенческой регуляции самоуправления дыханием в сердечно-легочной реабилитации

Проанализированы результаты двух систематических обзоров и 5 РКИ [10, 14, 15, 49–53], посвященные изучению влияния программ ранней мобилизации на параметры дыхания и когнитивные осложнения у пациентов после операции КШ. Выявлено значительное преимущество от применения технических устройств и дыхательных тренажеров, воздействующих через сенсорные системы (визуально, акустически, проприоцептивно). Когда после некоторого числа повторов испытуемый наблюдает результат выполнения упражнений, у него формируется возможность произвольно регулировать мышечные напряжения и дыхание.

Так, Okamoto J. et al. (2021) представили сравнительный анализ действия стандартной программы легочной реабилитации, включающей интервальное гипоксическое кондиционирование, тренировку дыхательных мышц, тренировку на выносливость и методику выполнения вокальных дыхательных упражнений с использованием клавишной губной гармошки. Установлено, что пациенты с ХОБЛ при использовании музыкального инструмента могли легче регулировать время и объем дыхания, добиться контроля объема выдоха и, таким образом, улучшить дыхательные объемы (ОФВ1/ФЖЕЛ), чем пациенты контрольной группы [10].

С другой стороны, большое количество наблюдений свидетельствует о том, что в адаптивную реакцию функции дыхания значительный вклад вносит поведенческое вмешательство [14, 15, 49]. Yu S., Fan H. (2023) приводят данные исследования «поведенческого вмешательства в сочетании с тренировкой дыхания» на восстановление функции легких у пациентов с респираторной патологией. По данным результатов исследования, доказано, что индивидуальные методы саморегуляции в сочетании с тренировкой дыхания корректировали когнитивную дисфункцию (внимание, мышление, способность регулировать эмоциональное состояние), респираторные симптомы (кашель, отхаркивание, одышка, стеснение в груди) и ТФН ($p < 0,05$) по сравнению с обычным уходом, лечением и рекомендациями по здоровью [15].

Однако, по данным Bentley T.G.K. et al. (2023), эффективность вмешательств снижается при длительных перерывах и тренировках без контроля инструктора по лечебной физкультуре (ЛФК) [14]. Так, исследования, проведенные Herkert C. et al. (2021), показали, что при кардиопульмональной телереабилитации на дому для пациентов с тяжелыми сочетанными сердечно-легочными заболеваниями наблюдалось снижение приверженности вследствие технологических затруднений, что указывает, по мнению авторов, «на важность интеграции техник изменения поведения с использованием адаптивных методов обучения» [53].

Существуют данные, что при полиэтиологических состояниях (неврологических, психологических расстройств) для достижения наиболее эффективного результата реабилитационных мероприятий должны применяться методические приемы, стимулирующие

более высокие проявления координационных способностей, оказывающие влияние на реагирующую и кинестетическую способность (время простой и сложной зрительно-моторной реакции, тактильно-кинестетическая точность воспроизведения заданий), которые во многом определяют эффективность управления процессом координации движений [54]. Такие методические приемы содержат дифференцирование усилий, времени, пространства и ритма движений, совершенствующих способность оценивать и отмеривать параметры движений в процессе обучения двигательному действию.

5. Методы респираторного тренинга в кардиореабилитации

Среди методов респираторной кардиореабилитации в настоящее время наиболее изучены, во-первых, упражнения на расслабление при выполнении медленного глубокого дыхания [13, 50].

Во-вторых, дыхательные тренировки [9, 37, 50, 55, 56], направленные на развитие силы и выносливости дыхательной мускулатуры для преодоления силы эластического сопротивления легких, сопротивления эластического потока в трахеобронхиальном дереве и сопротивления неэластичных тканей (например, ребра) с целью увеличения жизненной емкости легких, в том числе с помощью специального оборудования и дыхательных тренажеров. К таким тренировкам относятся тренировки с введением в контур дыхания дополнительного резистивного сопротивления посредством дыхательных тренажеров (Threshold, США) [37].

Так, Cordeiro A.L.L. et al. (2022) изучали влияние дыхательных тренировок у пациентов с высоким риском послеоперационных легочных осложнений: курящих, с ХОБЛ средней и тяжелой степени тяжести, индексом массы тела более 27 кг/м^2 . Обнаружено, что в группе с тренировками дыхательных мышц статистически снижалась частота развития ателектаза и пневмонии, что повлияло на продолжительность пребывания в стационаре (9 ± 3 дня против 12 ± 4 дня, $p = 0,04$) [51].

Dsouza F.V. et al. (2021) с помощью метаанализа при сравнении средних показателей приводят доказательства улучшения легочной функции, силы дыхательных мышц и функциональной способности у пациентов, перенесших операцию на сердце после тренировок мышц вдоха [9].

Однако данных литературы, посвященных координационной тренировке в кардиореабилитации, недостаточно. При этом влияние коррекции координационных взаимодействий дыхательной мускулатуры в развитии бронхолегочных послеоперационных осложнений наименее изучено в практике хирургической кардиореабилитации [48, 57, 58].

Так, Xiang Y. et al. (2023), проанализировавшие результаты нескольких РКИ, показали, что тренировки дыхательной мускулатуры были связаны со значительно более низким риском послеоперационной пневмонии ($p < 0,0001$) и ателектаза ($p = 0,0002$), но не оказывали влияния на снижение послеоперационного гидроторакса ($p = 0,76$) [57], что свидетельствует об ограничении экскурсий грудной клетки и поверхностном типе дыхания.

Ранее (2021) авторами обзора была разработана персонализированная программа респираторной кардиореабилитации, включающая методику развития навыков координации движений в регуляции дыхания [58]. Простое рандомизированное исследование включало 73 пациента (58 мужчин и 15 женщин) со стабильной ИБС, II–III функционального класса, перенесших операцию реваскуляризации коронарных артерий (КШ) с ИК. В комплексной ранней медицинской реабилитации (с 9–10-го дня по 22–25-й день) сравнивалась эффективность обучения управления своим дыханием при типовом методе групповой ЛФК и методике совершенствования координационных способностей произвольно регулировать свое дыхание при индивидуальных занятиях дыхательной гимнастикой. Обучение двигательным действиям было сопряжено с координационной подготовкой, включающей формирование умений целесообразно строить свое движение, управлять им и при необходимости быстро перестраивать его при дыхании [58].

Результаты РКИ показали, что использование методики совершенствования координационных способностей самоуправления дыханием после открытой операции на сердце повышает эффективность дыхательных упражнений предположительно вследствие совершенствования биомеханики дыхания. Испытуемые продемонстрировали более высокие показатели ТФН ($p = 0,005$) и сатурации кислорода (SpO_2 , %) при выполнении теста с физической нагрузкой ($p = 0,04$). В обеих группах снизилось количество пациентов с признаками гидроторакса, однако в экспериментальной группе по сравнению с контрольной пациентов с осложнениями было значительно меньше ($p = 0,001$) [58]. Результаты исследования

свидетельствуют, что методика обучения координации дыхания, применяемая у пациентов в ранней реабилитации после открытой операции на сердце, обеспечивает регресс послеоперационных нарушений паттерна дыхания и инспираторных усилий в компенсаторных ответах респираторной системы на послеоперационные изменения в регуляции внешнего дыхания, которые влияют на развитие бронхолегочных осложнений [58].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ результатов опубликованных исследований свидетельствует, что респираторные тренировки улучшают координационные взаимоотношения между группами дыхательных мышц в виде положительной динамики вентиляционных показателей при исследовании функции внешнего дыхания у пациентов после КШ. Однако эффективность таких тренировок может значительно варьировать в зависимости от индивидуальных особенностей пациента за счет снижения его общих координационных способностей, что требует методических подходов их совершенствования и тренировки.

Одним из важнейших путей совершенствования координационных способностей управлять своим дыханием после открытой операции на сердце является систематическое обучение двигательным умениям. Обладая большим запасом двигательных навыков, пациенты легче и быстрее справляются с послеоперационными затруднениями в управлении своим дыханием, что сопровождается более быстрым восстановлением продуктивной двигательной деятельности, позволяет уменьшить количество осложнений со стороны бронхолегочной системы.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Архипова Наталья Викторовна, инструктор-методист по лечебной физкультуре кабинета реабилитации, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «НИИ комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний» Минобрнауки России.

E-mail: arkhipova.natali@list.ru, reception@kemcardio.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1163-2172>

Помешкина Светлана Александровна, доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории реабилитации, ФГБНУ «НИИ комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний» Минобрнауки России.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3333-216X>

Быков Евгений Витальевич, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой спортивной медицины и физической реабилитации, ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет физической культуры».

Вклад авторов. Все авторы подтверждают свое авторство в соответствии с международными критериями ICMJE (все авторы внесли значительный вклад в концепцию, дизайн исследования и подготовку статьи, прочитали и одобрили окончательный вариант до публикации). Наибольший вклад распределен следующим образом: Архипова Н.В. — анализ данных, написание и редактирование текста статьи; Помешкина С.А. — проверка и редактирование рукописи; Быков Е.В. — руководство проектом.

Источники финансирования. Данное исследование не было поддержано никакими внешними источниками финансирования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Доступ к данным. Данные, подтверждающие выводы этого исследования, можно получить по обоснованному запросу у корреспондирующего автора.

ADDITIONAL INFORMATION

Natalya V. Arkhipova, Instructor-methodologist for Physical Therapy of Rehabilitation Room, Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases.

E-mail: arkhipova.natali@list.ru, reception@kemcardio.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1163-2172>

Svetlana A. Pomeshkina, Dr.Sci. (Med.), Researcher, Rehabilitation Laboratory, Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3333-216X>

Evgeniy V. Bykov, Dr.Sci. (Med.), Professor, Department of Sports Medicine and Physical Rehabilitation, Ural State University of Physical Culture.

Author Contributions. All authors confirm their authorship in accordance with the international ICMJE criteria (all authors made significant contributions to the concept, study design and preparation of the article, read and approved the final version before publication). Special contributions: Arkhipova N.V. — data analysis, writing and editing the text of the article; Pomeshkina S.A. — reviewing and editing the manuscript; Bykov E.V. — project management.

Funding. This study was not supported by any external funding sources.

Disclosure. The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Data Access Statement. The data supporting the conclusions of this study are available upon reasonable request from the corresponding author.

Список литературы / References

- World Health Organization. Cardiovascular diseases (CVDs) Available at: https://www.who.int/health-topics/cardiovascular-diseases#tab=tab_1 (Accessed December 19, 2021)
- Шарапова О.В., Кича Д.И., Герасимова Л.И., Рукодайный О.В. и др. Картографический анализ показателей заболеваемости и смертности от болезней системы кровообращения населения Российской Федерации (2010–2019 гг.). Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2022; 11(1): 56–68. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2022-11-1-56-68> [Sharapova O.V., Kicha D.I., Gerasimova L.I., et al. Map analysis of morbidity and mortality from blood circulatory system diseases of the population of the Russian federation (2010-2019). Complex Issues of Cardiovascular Diseases. 2022; 11(1): 56–68. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2022-11-1-56-68> (In Russ.)]
- Семенов В.Ю., Самородская И.В. Динамика числа реваскуляризаций миокарда в России и мире в 2000–2018 годах. Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2021; 10(4): 68–78. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2021-10-4-68-78> [Semenov V.Yu., Samorodskaya I.V. Dynamics of the number of myocardial revascularization operations in some countries in comparison with the Russian Federation in 2000–2018. Complex Issues of Cardiovascular Diseases. 2021; 10(4): 68–78. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2021-10-4-68-78> (In Russ.)]
- Бокерия Л.А., Аронов Д.М. и др. Российские клинические рекомендации. Коронарное шунтирование больных ишемической болезнью сердца: реабилитация и вторичная профилактика. КардиоСоматика. 2016; 7 (3–4): 5–71. [Bokeria L. A., Aronov D. M. Russian clinical guidelines Coronary artery bypass grafting in patients with coronary heart disease: rehabilitation and secondary prevention. *Cardiosomatics*. 2016; 7 (3–4): 5–71 (In Russ.)]
- Архипова Н.В., Аргунова Ю.А., Помешкина Е.Е. Нерешенные вопросы в профилактике бронхолегочных осложнений у кардиохирургического пациента с позиции реабилитолога. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2021; 98(2): 65–69. <https://doi.org/10.17116/kurort20219802165> [Arkhipova N.V., Argunova Yu.A., Pomeshkina E.E. Unresolved issues in the prevention of bronchopulmonary complications in a cardiac surgery patient from the standpoint of a rehabilitation therapist. *Problems of Balneology, Physiotherapy and Exercise Therapy*. 2021; 98(2): 65–69. <https://doi.org/10.17116/kurort20219802165> (In Russ.)]
- Заболотских И.Б., Грицан А.И., Киров М.Ю. и др. Периоперационное ведение пациентов с дыхательной недостаточностью: методические рекомендации Общероссийской общественной организации «Федерация анестезиологов и реаниматологов». Вестник интенсивной терапии имени А.И. Салтанова. 2022; (4): 7–23. <https://doi.org/10.21320/1818-474X-2022-4-7-23> [Zabolotskikh I.B., Gritsan A.I., Kirov M.Yu., et al. Perioperative management of patients with respiratory failure: methodological recommendations of the All-Russian public organization “Federation of Anesthesiologists and Reanimatologists”. *Annals of Critical Care*. 2022; 4: 7–23. <https://doi.org/10.21320/1818-474X-2022-4-7-23> (In Russ.)]
- Зозуля М.В., Ленкин А.И., Сотников А.В. и др. Показатели респираторной функции в раннем послеоперационном периоде у пациентов, оперированных по поводу ишемической болезни сердца в условиях искусственного кровообращения и на работающем сердце. Анестезиология и реаниматология. 2020; 4: 54–60. <https://doi.org/10.17116/anaesthesiology202004154> [Zozulya M.V., Lenkin A.I., Sotnikov A.V., et al. Intraoperative and early postoperative respiratory function in patients with coronary artery disease undergoing on-pump or off-pump coronary artery bypass surgery. *Russian Journal of Anaesthesiology and Reanimatology*. 2020; 4: 54–60. <https://doi.org/10.17116/anaesthesiology202004154> (In Russ.)]
- Аргунова Ю.А., Помешкина С.А., Барбараш О.Л. Кардиореабилитация при синдроме старческой астении. Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2020; 9(4): 71–79. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2020-9-4-71-79> [Argunova Yu.A., Pomeshkina S.A., Barbarash O.L. Cardiac rehabilitation and frailty (a literature review). *Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2020; 9(4): 71–79. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2020-9-4-71-79> (In Russ.)]
- Dsouza F.V., Amaravadi S.K., Samuel S.R., et al. Effectiveness of Inspiratory Muscle Training on Respiratory Muscle Strength in Patients Undergoing Cardiac Surgeries: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Annals of Rehabilitation Medicine*. 2021; 45(4): 264–273. <https://doi.org/10.5535/arm.21027>
- Okamoto J., Furukawa Y., Kobinata N., et al. Combined effect of pulmonary rehabilitation and music therapy in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Journal of Physical Therapy Science*. 2021; 33(10): 779–783. <https://doi.org/10.1589/jpts.33.779>
- Александрова Н.П. Цитокины и резистивное дыхание. Физиология человека. 2012; 38(2): 119–129. [Aleksandrova N.P. Cytokines and resistive breathing. *Human Physiology* 2012; 38(2): 119–129 (In Russ.)]
- Глебовский В.Д. Рефлексы с рецепторов легких и дыхательных мышц и их значение в регуляции дыхания. Руководство по физиологии. Физиология дыхания. Ленинградское отделение: Наука. 1973; 115. 150 с. [Glebovskij V.D. Refleksy s receptorov legkih i dyhatel'nyh myshc i ih znachenie v regulyacii dyhaniya. *Rukovodstvo po fiziologii. Fiziologiya dyhaniya*. Leningradskoe otdelenie: Nauka. 1973; 115. 150 p. (In Russ.)]
- Kral T.R.A., Weng H.Y., Mitra V., et al. Slower respiration rate is associated with higher self-reported well-being after wellness training. *Scientific Reports*. 2023; 13(1): 15953. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-43176-w>
- Bentley T.G.K., D'Andrea-Penna G., Rakic M., et al. Breathing Practices for Stress and Anxiety Reduction: Conceptual Framework of Implementation Guidelines Based on a Systematic Review of the Published Literature. *Brain Sciences*. 2023; 13(12): 1612. <https://doi.org/10.3390/brainsci13121612>
- Yu S., Fan H. Analysis of the Effect of Mindfulness Behavior Intervention Combined with Progressive Breathing Training on Pulmonary Function Rehabilitation in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Emergency Medicine International*. 2022; 2022: 1698918 <https://doi.org/10.1155/2022/1698918>
- Jimeno-Almazán A., Buendía-Romero Á., Martínez-Cava A., et al. Effects of a concurrent training, respiratory muscle exercise, and self-management recommendations on recovery from post-COVID-19 conditions: the RECOVE trial. *Journal of Applied Physiology*. 2023; 134(1): 95–104. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00489.2022>
- Azambuja A.C.M., de Oliveira L.Z., Sbruzzi G. Inspiratory Muscle Training in Patients with Heart Failure: What is New? Systematic Review and Meta-Analysis. *Physical Therapy*. 2020; 100(12): 2099–2109. <https://doi.org/10.1093/ptj/pzaa171>

18. Mali S., Haghanejad H. Pulmonary complications following cardiac surgery. *Archives of Medical Science — Atherosclerotic Diseases*. 2019; 4: e280–e285. <https://doi.org/10.5114/amsad.2019.91432>
19. Takemura H. [Perioperative Management for Cardiovascular Surgery on the Patients with Pulmonary Dysfunction]. *Kyobu Geka. The Japanese Journal of Thoracic Surgery*. 2020; 73(10): 764–769. [Article in Japanese]
20. Yousefshahi F., Samadi E., Paknejad O., et al. Prevalence and Risk Factors of Hypoxemia after Coronary Artery Bypass Grafting: The Time to Change Our Conceptions. *The Journal of Tehran Heart Center*. 2019; 14(2): 74–80.
21. Hadaya J., Verma A., Marzban M., et al. Impact of Pulmonary Complications on Outcomes and Resource Use After Elective Cardiac Surgery. *Annals of Surgery*. 2023; 278(3): e661–e666. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000005750>
22. Hu J., Lv B., West R., et al. Comparison between dexmedetomidine and propofol on outcomes after coronary artery bypass graft surgery: a retrospective study. *BMC Anesthesiology*. 2022; 22(1): 51. <https://doi.org/10.1186/s12871-022-01589-6>
23. Ярошецкий А.И., Грицан А.И., Авдеев С.Н. и др. Диагностика и интенсивная терапия острого респираторного дистресс-синдрома. Клинические рекомендации Общероссийской общественной организации «Федерация анестезиологов и реаниматологов». *Анестезиология и реаниматология*. 2020; 2: 5–39. <https://doi.org/10.17116/anaesthesiology20200215> [Yaroshetskiy A.I., Gritsan A.I., Avdeev S.N., et al. Diagnostics and intensive therapy of Acute Respiratory Distress Syndrome. Clinical guidelines of the Federation of Anesthesiologists and Reanimatologists of Russia. *Russian Journal of Anaesthesiology and Reanimatology*. 2020; 2: 5–39. <https://doi.org/10.17116/anaesthesiology20200215> (In Russ.)]
24. Squicciarino E., Stasi A., Lorusso R., Paparella D. Narrative review of the systemic inflammatory reaction to cardiac surgery and cardiopulmonary bypass. *Artificial organs*. 2022; 46(4): 568–577. <https://doi.org/10.1111/aor.14171>
25. Benjamin J.J., Cascade P.N., Rubenfire M., et al. Left lower lobe atelectasis and consolidation following cardiac surgery: the effect of topical cooling on the phrenic nerve. *Radiology*, 1982; 142(1): 11–14. <https://doi.org/10.1148/radiology.142.1.6975951>
26. Locke T.J., Griffiths T.L., Mould H., Gibson G.J. Rib cage mechanics after median sternotomy. *Thorax*. 1990; 45(6): 465–468. <https://doi.org/10.1136/thx.45.6.465>
27. Ragnarsdottir M., Kristjansdottir A., Ingvarsdottir I., et al. Short-term changes in lung function and respiratory movements after heart surgery with median sternotomy. *Scandinavian Cardiovascular Journal*. 2004; 38(1): 46–52. <https://doi.org/10.1080/14017430310016658>
28. Васильев А.С., Шмырев В.И., Васильева В.В. и др. Ведущие функциональные компоненты и клиническое значение торакалгических синдромов и безболевого торакального дисфункции. *Кремлевская Медицина. Клинический вестник*. 2018; 3: 71–79. [Vasiliev A.S., Shmyrev V.I., Vasilieva V.V., et al. Leading functional components and clinical relevance of thoracalgic pain syndromes and painless thoracic dysfunction. *Kremlin medicine. Clinical bulletin*. 2018; 3: 71–79 (In Russ.)]
29. Овсянников Р.Ю., Громова Т.А., Молошнева В.А. и др. Физика и физиология вентиляционно-перфузионного сопряжения: обоснование и начальный опыт выбора конечно-эспираторного давления при механической вентиляции легких. *Журнал технической физики*. 2022; 92(7): 1004–1017. <http://doi.org/10.21883/JTF.2022.07.52658.27-22> [Ovsianikov R. I., Gromova T.A., Moloshneva V.A., et al. Physics and Physiology of Ventilation-Perfusion Coupling: Substantiation and Initial Experience of End-Expiratory Pressure Choice During Mechanical Ventilation. *Technical Physics*. 2022; 92(7): 1004–1017. <http://doi.org/10.21883/JTF.2022.07.52658.27-22> (In Russ.)]
30. Бабаев М.А., Быков Д.Б., Бирг Т.М. и др. ИВЛ-индуцированная дисфункция диафрагмы (обзор). *Общая реаниматология*. 2018; 14(3): 82–103. <https://doi.org/10.15360/1813-9779-2018-3-82-103> [Babaev M.A., Bykov D.B., Birg T.M., et al. Ventilator-Induced Diaphragm Dysfunction (Review). *General Reanimatology*. 2018; 14(3): 82–103. <https://doi.org/10.15360/1813-9779-2018-3-82-103> (In Russ.)]
31. Santana P.V., Cardenas L.Z., Albuquerque A.L.P., et al. Diaphragmatic ultrasound: a review of its methodological aspects and clinical uses. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*. 2020; 46(6): e20200064. <https://doi.org/10.36416/1806-3756/e20200064>
32. Миняева А.В., Миняев В.И. Зависимость соотношения и степени использования торакального и абдоминального дыхательных резервов от положения тела. *Физиологический журнал*. 1998; 24(5): 11–15. [Minyaeva A.V., Minyaev V.I. Dependence of the ratio and degree of utilisation of thoracic and abdominal respiratory reserves on body position. *Fiziologicheskij zhurnal*. 1998; 24(5): 11–15 (In Russ.)]
33. O'Donnell D.E., Milne K.M., James M.D., et al. Dyspnea in COPD: New Mechanistic Insights and Management Implications. *Advances in therapy*. 2020; 37(1): 41–60. <https://doi.org/10.1007/s12325-019-01128-9>
34. Белкин А.А., Алашеев А.М., Белкин В.А. и др. Реабилитация в отделении реанимации и интенсивной терапии (РеабИТ). Методические рекомендации Союза реабилитологов России и Федерации анестезиологов и реаниматологов. *Вестник интенсивной терапии имени А.И. Салтанова*. 2022; 2: 7–40. <https://doi.org/10.21320/1818-474X-2022-2-7-40> [Belkin A.A., Alasheev A.M., Belkin V.A., et al. Rehabilitation in the intensive care unit (RehabICU). Clinical practice recommendations of the national Union of Physical and Rehabilitation Medicine Specialists of Russia and of the national Federation of Anesthesiologists and Reanimatologists. *Russian Federation of anesthesiologists and reanimatologists guidelines. Annals of Critical Care*. 2022; 2: 7–40. <https://doi.org/10.21320/1818-474X-2022-2-7-40> (In Russ.)]
35. Su H., Zhang J., Liu Y., et al. Pre and postoperative nurse-guided incentive spirometry versus physiotherapist-guided pre and postoperative breathing exercises in patients undergoing cardiac surgery: An evaluation of postoperative complications and length of hospital stay. *Medicine*. 2022; 101(52): e32443. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000032443>
36. Chen X., Hou L., Zhang Y., et al. The effects of five days of intensive preoperative inspiratory muscle training on postoperative complications and outcome in patients having cardiac surgery: a randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation*. 2019; 33(5): 913–922. <https://doi.org/10.1177/0269215519828212>
37. Dos Santos T.D., Pereira S.N., Portela L.O.C., et al. Moderate-to-high intensity inspiratory muscle training improves the effects of combined training on exercise capacity in patients after coronary artery bypass graft surgery: A randomized clinical trial. *International Journal of Cardiology*. 2019; 279: 40–46. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2018.12.013>
38. Малева О.В., Трубникова О.А., Сырова И.Д. и др. Частота развития послеоперационной когнитивной дисфункции после симультанной операции на коронарных и внутренних сонных артериях при асимптомном течении церебрального атеросклероза. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. Спецвыпуски*. 2020; 120(3–2): 5–12. <https://doi.org/10.17116/jnevro20201200325> [Maleva O.V., Trubnikova O.A., Syrova I.D., et al. Incidence of postoperative cognitive dysfunction after simultaneous carotid surgery and coronary artery bypass grafting in patients with asymptomatic cerebral atherosclerosis. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2020; 120(3–2): 5–12. <https://doi.org/10.17116/jnevro20201200325> (In Russ.)]
39. Драпкина О.М., Новикова Н.К., Джиоева О.Н. Методические рекомендации: «Современные возможности и перспективы комплексной физической активности больных с сердечно-сосудистой патологией». *Профилактическая медицина*. 2020; 23(3–2): 61–119. <https://doi.org/10.17116/profmed20202303261> [Drapkina O.M., Novikova N.K., Dzhioeva O.N. Methodological recommendations: “Current opportunities and prospects of complex physical activity of patients with cardiovascular pathology”. *Russian Journal of Preventive Medicine*. 2020; 23(3–2): 61–119. <https://doi.org/10.17116/profmed20202303261> (In Russ.)]
40. Yuan S.M., Lin H. Postoperative Cognitive Dysfunction after Coronary Artery Bypass Grafting. *Brazilian Journal of Cardiovascular Surgery*. 2019; 34(1): 76–84. <https://doi.org/10.21470/1678-9741-2018-0165>

41. Somnuke P, Srisheewachart P, Jiraphorncharas C., et al. Early postoperative neurocognitive complications in elderly patients: comparing those with and without preexisting mild cognitive impairment- a prospective study. *BMC Geriatrics*. 2024; 24(1): 84. <https://doi.org/10.1186/s12877-024-04663-5>
42. Бернштейн Н.А. О построении движений. М.: Медгиз, 1947. 255 с. [Bernshtejn N.A. O postroenii dvizhenij. Moscow: Medgiz, 1947. 255 p. (In Russ..)]
43. Солодухин А.В., Трубникова О.А., Барбараш О.Л. Динамика показателей психологического статуса у пациентов со стабильной ишемической болезнью сердца и коронарным шунтированием. *Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова*. 2020; 28(2): 164–170. <https://doi.org/10.23888/PAVLOVJ2020282164-170> [Solodukhin A.V., Trubnikova O.A., Barbarash O.L. Dynamics of parameters of psychological status of patients with stable ischemic heart disease and coronary artery bypass surgery. *I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald*. 2020; 28(2): 164–170. <https://doi.org/10.23888/PAVLOVJ2020282164-170> (In Russ..)]
44. Trubnikova O.A., Tarasova I.V., Moskin E.G., et al. Beneficial Effects of a Short Course of Physical Prehabilitation on Neurophysiological Functioning and Neurovascular Biomarkers in Patients Undergoing Coronary Artery Bypass Grafting. *Frontiers in Aging Neuroscience*. 2021; 13: 699259. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2021.699259>
45. Boovarahan S.R., Kale S.B., Prem P.N., et al. CABG Patients Develop Global DNA Hypermethylation, That Negatively Affect the Mitochondrial Function and Promote Post-Surgical Cognitive Decline: A Proof of Concept in Small Cohort. *Journal of Clinical Medicine*. 2023; 12(12): 4146. <https://doi.org/10.3390/jcm12124146>
46. Kant S., Banerjee D., Sabe S.A., et al. Microvascular dysfunction following cardiopulmonary bypass plays a central role in postoperative organ dysfunction. *Frontiers in Medicine*. 2023; 10: 1110532. <https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1110532>
47. Vu T., Smith J.A. An Update on Postoperative Cognitive Dysfunction Following Cardiac Surgery. *Frontiers in Psychiatry*. 2022; 13: 884907. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2022.884907>
48. Aquino T.N., Prado J.P., Crisafulli E., et al. Efficacy of Respiratory Muscle Training in the Immediate Postoperative Period of Cardiac Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Brazilian Journal of Cardiovascular Surgery*. 2024; 39(1): e20220165. <https://doi.org/10.21470/1678-9741-2022-0165>
49. Allahbakhshian A., Khalili A.F., Gholizadeh L., Esmealy L. Comparison of early mobilization protocols on postoperative cognitive dysfunction, pain, and length of hospital stay in patients undergoing coronary artery bypass graft surgery: A randomized controlled trial. *Applied nursing research*. 2023; 73: 151731. <https://doi.org/10.1016/j.apnr.2023.151731>
50. Zerang F, Amouzesi A., Barkhordari-Sharifabad M. Comparison of the effect of incentive spirometry and deep breathing exercises on hemodynamic parameters of patients undergoing coronary artery bypass graft surgery: A Clinical Trial. *Society for Peripheral Vascular Nursing*. 2022; 40(3): 134–139. <https://doi.org/10.1016/j.jvn.2022.08.002>
51. Cordeiro A.L.L., Carvalho B.S.C., Silva E.G.D., et al. Inspiratory muscle training and functional capacity following coronary artery bypass grafting in high-risk patients: A pilot randomized and controlled trial. *Journal of Clinical and Translational Research*. 2022; 8(4): 266–271.
52. Pengelly J., Pengelly M., Lin K.Y., et al. Exercise Parameters and Outcome Measures Used in Cardiac Rehabilitation Programs Following Median Sternotomy in the Elderly: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Heart Lung Circ*. 2019; 28(10): 1560–1570. <https://doi.org/10.1016/j.hlc.2019.05.098>
53. Herkert C., Graat-Verboom L., Gilsing-Fernhout J., et al. Home-Based Exercise Program for Patients with Combined Advanced Chronic Cardiac and Pulmonary Diseases: Exploratory Study. *JMIR Form Res*. 2021; 5(11): e28634. <https://doi.org/10.2196/28634>
54. Евсеева О.Э., Двейрина О.А., Аксенов А.В. Анализ программ по дисциплине «физическая культура» в части данных о требованиях к уровню физической подготовленности обучающихся специальных (коррекционных) образовательных организаций восьми видов для детей с ограниченными возможностями здоровья. *Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта*. 2016; 133(3): 80–94. [Evseeva O.E., Dveyrina O.A., Aksenov A.V. The Analysis of Programs for Discipline “Physical Culture” Regarding the Data on Requirements to the Level of Physical Fitness of the Trained of Special (Correctional) Educational Organizations of Eight Types for Children with Limited Opportunities of Health. *Uchenye Zapiski Universiteta Imeni P.F. Lesgafta*. 2016; 133(3): 80–94 (In Russ..)]
55. Eibel B., Marques J.R., Dipp T., et al. Ventilatory Muscle Training for Early Cardiac Rehabilitation Improved Functional Capacity and Modulated Vascular Function of Individuals Undergoing Coronary Artery Bypass Grafting: Pilot Randomized Clinical Trial. *Int J Environ Res Public Health*. 2022; 19(15): 9340. <https://doi.org/10.3390/ijerph19159340>
56. Amin R., Alaparathi G.K., Samuel S.R., et al. Effects of three pulmonary ventilation regimes in patients undergoing coronary artery bypass graft surgery: a randomized clinical trial. *Sci Rep*. 2021; 11(1): 6730. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86281-4>
57. Xiang Y., Zhao Q., Luo T., Zeng L. Inspiratory muscle training to reduce risk of pulmonary complications after coronary artery bypass grafting: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. 2023; 10: 1223619. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2023.1223619>
58. Помешкина С.А., Архипова Н.В., Лебедева Н.Б. и др. Эффективность применения оригинальной методики дыхательных упражнений, включающих техники мобилизации диафрагмального дыхания в комплексной ранней медицинской реабилитации пациентов, перенесших коронарное шунтирование. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2023; 12(4S): 34–43. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2023-12-4S-34-43> [Pomeshkina S.A., Arhipova N.V., Lebedeva N.B., et al. The effectiveness of using an original method of breathing exercises, including techniques for mobilizing diaphragmatic breathing in complex early medical rehabilitation of patients who have undergone coronary artery bypass surgery. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2023; 12(4S): 34–43. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2023-12-4S-34-43> (In Russ..)]