



# Сравнительная оценка эффективности вибрационных физиотерапевтических методов в ранние сроки после кардиохирургических вмешательств

А. А. ЕРЕМЕНКО, Т. П. ЗЮЛЯЕВА, Д. В. РЯБОВА, А. П. АЛФЕРОВА

Российский научный центр хирургии им. акад. Б. В. Петровского, Москва, РФ

РЕЗЮМЕ

Осложнения со стороны системы дыхания у пациентов после кардиохирургических вмешательств встречаются в 20–30% случаев; многие из них связаны с неэффективной эвакуацией бронхиального секрета в ранние сроки после операции.

**Цель:** сравнить эффективность и безопасность методов стимулирования эвакуации бронхиального секрета с помощью осцилляторной РЕР-терапии, аппаратной стимуляции кашля механическим инсuffлятором-аспиратором и традиционного метода мануальной перкуссии грудной клетки в раннем послеоперационном периоде у кардиохирургических пациентов.

**Материал и методы.** Проспективное исследование включало 120 кардиохирургических пациентов. Выделены 3 группы по 40 больных каждая в зависимости от вида применяемого респираторного воздействия после кардиохирургических операций. Распределение по группам проводили методом случайного отбора. Все процедуры выполняли через 10–12 ч после экстубации трахеи (спустя 15–20 ч после окончания операции) при дыхании воздухом. До процедуры и через 20 мин после нее оценивали эффективность отхождения мокроты, измеряли показатели газообмена и максимальную инспираторную емкость легких (МИЕЛ).

**Результаты.** Затруднения в эвакуации мокроты при кашле в ранние сроки после экстубации трахеи наблюдались у 86,7% больных. Проведение однократного сеанса как РЕР-терапии с помощью спиротренажера Acapella Duet (1-я группа), так и аппаратной стимуляции кашля с помощью осцилляторной компрессии грудной клетки аппаратом Comfort Cough Plus (2-я группа) приводило к улучшению пассажа мокроты, о чем свидетельствовало увеличение числа больных с продуктивным отхождением мокроты в 4,25 раза ( $p < 0,0009$ ) и в 5,3 раза ( $p < 0,0007$ ) соответственно. У пациентов 1-й и 2-й групп наблюдалось увеличение МИЕЛ (на 42,2 и 60,0% соответственно,  $p = 0,000001$ ), различия между группами значимы. В контрольной, 3-й группе, при мануальной физиотерапии средний прирост МИЕЛ составил лишь 11,6%. Процедуры аппаратной респираторной терапии приводили к значимому улучшению показателей газообмена: увеличению  $SpO_2$  в 1-й и 2-й группах ( $p = 0,000009$  и  $0,000001$  соответственно) и уменьшению доли пациентов с нарушением оксигенирующей функции легких ( $SpO_2 < 92\%$ ) в 11 и 12 раз соответственно ( $p < 0,01$ ). Наиболее значимые изменения показателей газообмена выявлены при использовании аппаратной стимуляции кашля инсuffлятором-аспиратором благодаря сочетанию осцилляторной компрессии грудной клетки с раздуванием легких. В группе контроля значимой динамики показателей газообмена не наблюдалось.

**Вывод.** Вибрационные методы стимулирования эвакуации бронхиального секрета имеют значительные преимущества по сравнению с классическим мануальным массажем грудной клетки у кардиохирургических больных в ранние сроки после операции. Отмечено их положительное влияние на пассаж мокроты, вентиляционные показатели и оксигенирующую функцию легких. Наиболее выраженный эффект наблюдается при аппаратной стимуляции кашля механическим инсuffлятором-аспиратором. Отмечены хорошая переносимость процедур и отсутствие связанных с ними осложнений.

**Ключевые слова:** послеоперационная дыхательная недостаточность, кардиохирургические больные, аппаратная стимуляция кашля, осцилляторная РЕР-терапия, осцилляторная компрессия грудной клетки, максимальная инспираторная емкость, оксигенирующая функция легких

**Для цитирования:** Еременко А. А., Зюляева Т. П., Рябова Д. В., Алферова А. П. Сравнительная оценка эффективности вибрационных физиотерапевтических методов в ранние сроки после кардиохирургических вмешательств // Вестник анестезиологии и реаниматологии. – 2021. – Т. 18, № 6. – С. 80-89. DOI: 10.21292/2078-5658-2021-18-6-80-89

## Comparative Evaluation of Vibratory Physiotherapy Methods in the Early Period after Cardiac Surgery

A. A. EREMENKO, T. P. ZYULYAEVA, D. V. RYABOVA, A. P. ALFEROVA

Petrovsky Russian Research Center of Surgery, Moscow, Russia

ABSTRACT

Postoperative respiratory complications in patients undergoing cardiac surgery occur in 20–30% cases, and the most of them can be associated with ineffective cough and bronchial mucus evacuation.

**The objective.** Comparative assessment of effectiveness and safety of methods for stimulating the evacuation of bronchial secretions using oscillatory PEP-therapy (Acapella Duet), oscillatory chest compression insufflator-aspirator “Comfort Cough Plus”, and the traditional method of manual chest percussion in the early period after cardiac surgery.

**Subjects and Methods.** The prospective study included 120 cardiac surgery patients. They were divided into 3 groups (40 in each), depending on the type of the applied respiratory procedure. Distribution into groups was carried out by random selection. All procedures were performed 10–12 hours after tracheal extubation. Before the procedure and 20 minutes after it, the efficiency of sputum discharge was assessed, gas exchange indices on room air breathing and maximum inspiratory lung capacity (MILC) were measured.

**Results.** Ineffective bronchial mucus evacuating in the early period after tracheal extubation was observed in 86.7% of the patients. A single procedure of both PEP-therapy (Group 1) and mechanical cough stimulation (Group 2) led to improved sputum passage, as evidenced by an increase in the number of patients with productive cough by 4.25 times ( $p < 0.0009$ ) and 5.3 times ( $p < 0.0007$ ), respectively. In patients of Groups 1 and 2, an increase in MILC was observed (by 42.2% and 60.0%, respectively,  $p = 0.000001$ ), the difference between the groups was statistically significant. In Control Group 3, with manual physiotherapy, the average increase in MILC was only 11.6%. Mechanical respiratory therapy procedures led to significant improvement in gas exchange variables, as evidenced by an increase in  $SpO_2$  in Groups 1 and 2 ( $p = 0.000009$  and  $0.000001$ , respectively) and a decrease in the proportion of patients with impaired oxygenating lung function ( $SpO_2$  below 92%) by 11 and 12 times, respectively ( $p < 0.01$ ). The most significant changes were revealed in case of mechanical stimulation with aspirator-insufflator due to combination of two methods (oscillatory chest compression and lung inflation). In Control Group, no significant changes of gas exchange variables were observed.

**Conclusion:** Mechanical vibratory methods for stimulating the bronchial secretion evacuation have significant advantages over classical manual chest massage in patients after cardiac surgery. Their positive effect on sputum passage, ventilatory parameters and gas exchange was noted, and the most pronounced effect was observed after oscillatory chest compression with insufflator-aspirator. The procedures were well tolerated and there were no complications associated with them.

**Key words:** postoperative respiratory failure, cardiac surgery patients, mechanical cough stimulation, oscillatory PEP-therapy, oscillatory chest compression, maximum inspiratory capacity, blood oxygenation

**For citations:** Eremenko A.A., Zyulyaeva T.P., Ryabova D.V., Alferova A.P. Comparative evaluation of vibratory physiotherapy methods in the early period after cardiac surgery. *Messenger of Anesthesiology and Resuscitation*, 2021, Vol. 18, no. 6, P. 80-89. (In Russ.) DOI: 10.21292/2078-5658-2021-18-6-80-89

*Для корреспонденции:*  
Зюляева Татьяна Петровна  
E-mail: zyulyaeva@mail.ru

*Correspondence:*  
Tatiana P. Zyulyaeva  
Email: zyulyaeva@mail.ru

Кардиохирургические операции часто сопровождаются развитием ряда респираторных осложнений в послеоперационном периоде, что может быть причинами, приводящими к увеличению периода пребывания больных в стационаре, повышению экономических затрат на лечение и летальности. Осложнения со стороны системы дыхания связывают непосредственно с оперативным вмешательством (механическая травма легкого, нарушение целостности каркаса грудной клетки, возможное повреждение диафрагмального нерва, вскрытие и дренирование плевральных полостей, болевой синдром), с проведением искусственной вентиляции легких (ИВЛ), одноклеточной вентиляции при определенных видах кардиохирургических вмешательств, с развитием вентилятор-ассоциированных пневмоний, с обострениями исходной патологии бронхолегочной системы [1, 14, 15, 17, 19]. Все вышперечисленное часто приводит к уменьшению дыхательных объемов, развитию ателектазов, нарушению дренажной функции бронхов, что способствует прогрессированию дыхательной недостаточности в раннем послеоперационном периоде, частота развития которой у кардиохирургических больных может достигать 20% и более [1, 12, 19, 23]. Снижению частоты послеоперационных легочных осложнений и продолжительности пребывания пациентов в стационаре способствует применение различных методов тренировки дыхательных мышц, которые для большей эффективности используются как до операции, так и в послеоперационном периоде в отделениях реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ). Для этой цели применяется традиционный метод мануальной перкуссии грудной клетки с вербальной стимуляцией кашля, однако он требует существенных физических затрат, специального обучения медицинского персонала данной методике, является оператор-зависимым, нуждается во введении в штат ОРИТ специалистов по массажу, лечебной физкультуре [8, 26].

В настоящее время для улучшения дренажной функции трахеобронхиального дерева применяют специальные приспособления и аппараты, такие как побудительная и нагрузочная спирометрия, осцилляционная РЕР-терапия, вибрационный массаж аппаратами, генерирующими виброакустический сигнал, надувными жилетами, передающими осцил-

ляторные колебания. Вышеописанные технологии направлены на облегчение клиренса дыхательных путей и улучшение функции легких в различных клинических условиях [2, 20, 22, 27]. По данным литературы, эти методы с хорошим эффектом широко применяются в терапевтической практике у пациентов с хронической обструктивной болезнью легких, муковисцидозом, бронхиальной астмой, однако использование данных методик у кардиохирургических пациентов в литературе освещается крайне недостаточно, в связи с чем данная проблема остается актуальной и требует дальнейшего изучения [25, 28, 29].

Цель исследования: сравнить эффективность и безопасность вибрационных методов стимулирования эвакуации бронхиального секрета с помощью осцилляционной РЕР-терапии, аппаратной стимуляции кашля механическим инсuffлятором-аспиратором и традиционного метода мануальной перкуссии грудной клетки в ранние сроки после кардиохирургических операций.

### Материал и методы

Работа выполнена на основании сравнительного анализа результатов трех исследований (всего 120 пациентов после плановых кардиохирургических операций, реконструктивных вмешательств на аорте, ее ветвях, проведенных в ФГБНУ «РНЦХ им. акад. Б. В. Петровского» в 2020–2021 гг.). Больные разделены на 3 группы по 40 человек в зависимости от вида применяемого респираторного воздействия. Исследование – проспективное одноцентровое. Формирование групп проводили методом случайного отбора. Необходимое наименьшее число пациентов для 3 групп исследования (117 человек) определено по программе G-Power 3.1 [11] (вероятность ошибки 1-го рода – 0,05 при заданной мощности исследования 80%). Критерии включения: возраст более 18 лет, самостоятельное дыхание после экстубации трахеи, возможность поддержания адекватного газообмена на фоне ингаляции кислорода, ясное сознание и продуктивный контакт с пациентом, адекватное обезболивание ( $\leq 2$  баллов) по 10-балльной визуально-аналоговой шкале боли (ВАШ).

Критерии исключения: необходимость проведения ИВЛ, неинвазивной масочной вентиляции лег-

ких или высокопоточной оксигенотерапии, острое нарушение мозгового кровообращения, шок различной этиологии, продолжающееся кровотечение, экстракорпоральные методы детоксикации, любые нервно-мышечные заболевания, пневмоторакс, гидро- или гемоторакс. Распределение пациентов всех групп по видам оперативного вмешательства представлено в табл. 1.

Во время хирургического вмешательства общую анестезию проводили на основе сбалансированной многокомпонентной анестезии (пропофол, мидазолам, кетамин, фентанил, севофлуран). Поддержание миоплегии осуществляли дробным введением пипекурония бромидом.

С целью защиты миокарда использовали кровяную кардиопротекцию или раствор «Кустодиол». Большинству больных операции проведены с искусственным кровообращением в условиях нормотермии или умеренной гипотермии. Пациентам при реконструктивных вмешательствах на дуге аорты операции выполняли в условиях гипотермии, циркуляторного ареста и антеградной перфузии головного мозга. В 1-ю группу включены пациенты ( $59,2 \pm 9,4$  года), у которых применяли PEP-терапию с помощью прибора Acapella (Acapella DH Green, Smith Medical ASD, США). Тренажер Acapella DH Green состоит из пластикового стакана, внутрь которого помещено вибрационное устройство, создающее на выдохе обратную пульсирующую волну частотой 12–16 Гц, резонирующую с колебанием ресничек внутри мелких бронхов. Пациент под контролем врача в положении сидя производил 3 максимальных глубоких вдоха с 8-секундной задержкой на высоте вдоха для максимальной экскурсии диафрагмы и вентиляции нижних отделов. Далее пациент выполнял 10–15 глубоких вдохов и выдохов. Продолжительность сеанса составляла в среднем около 10 мин. Цикл заканчивался кашлем и выделением мокроты.

Во 2-ю группу вошли больные ( $55,8 \pm 14,2$  года), у которых в качестве респираторной терапии применяли инсуффлятор-аспиратор механический Comfort Cough Plus (Комфортный кашель плюс) производства компании Seol Pacific Corporation, Корея. Устройство нацелено на лучшее отхождение

бронхиального секрета после применения перкуссионного жилета и инициации кашлевого усилия за счет резкой смены положительного давления в дыхательных путях на отрицательное. Сеанс проводили по следующей методике: на грудную клетку пациента надевался перкуссионный жилет, устанавливались следующие параметры при работе в перкуссионном режиме:  $f$  (частота вдохов в минуту) – 600,  $I_p$  (заданное значение давления вдоха) +60 см  $H_2O$ , время 5 мин. Затем к лицу пациента прикладывалась лицевая маска, устанавливались следующие параметры в автоматическом режиме:  $E_p$  (давление выдоха) – 20 см  $H_2O$ ,  $I_p$  (давление вдоха) +20 см  $H_2O$ ,  $T_E$  (время выдоха) 1,5 с,  $T_I$  (время вдоха) 1,5 с,  $T_P$  (время паузы) 1,5 с, HIGH – мгновенный поток вдоха. Время с данными параметрами составляло 2 мин, затем производили изменение  $E_p$  – 40 см  $H_2O$  и  $I_p$  +40 см  $H_2O$ , и также спустя 2 мин параметры становились следующими:  $E_p$  – 60 см  $H_2O$  и  $I_p$  +60 см  $H_2O$ .

В 3-ю, контрольную группу, включены пациенты ( $58,9 \pm 12,4$  года), которым в качестве респираторной терапии проводили классический мануальный массаж грудной клетки с перкуссией и вербальной стимуляцией кашля на фоне компрессий грудной клетки общей длительностью 15 мин.

Все процедуры выполняли через 10–12 ч после экзтубации трахеи (спустя 15–20 ч после окончания операции) при дыхании воздухом.

Перед проведением сеанса пациентам каждой группы предлагали оценить выраженность болевого синдрома по ВАШ. При количестве баллов более 2 выполняли обезболивание по принятой в отделении схеме препаратами, не влияющими на функцию дыхания (парацетамол в дозе 1 г внутривенно, 50–100 мг трамадола внутривенно или 100 мг кетопрофена внутримышечно). Для оценки эффективности применяемых методик в каждой группе перед сеансом и через 20 мин после его окончания при дыхании воздухом регистрировали следующие показатели артериальной крови: pH, насыщение крови кислородом по пульсоксиметру и в артериальной крови, уровень парциального давления кислорода и углекислоты ( $SpO_2$ ,  $SaO_2$ ,  $PaO_2$ ,  $PaCO_2$  соответственно), по общепринятым

**Таблица 1. Распределение больных по видам оперативного вмешательства**

*Table 1. Distribution of patients as per types of surgery*

Группы / виды операций	1-я группа, n = 40	2-я группа, n = 40	3-я группа, n = 40	p
Протезирование клапанов сердца в сочетании с септальной миоэктомией	13	14	15	> 0,05
Реваскуляризация миокарда в сочетании с протезированием клапанов сердца	13	12	13	> 0,05
Реконструктивные операции на аорте	9	11	9	> 0,05
Ушивание дефекта межпредсердной или межжелудочковой перегородки	3	-	1	> 0,05
Прочие с искусственным кровообращением	2	3	2	> 0,05
Итого	40	40	40	

формулам рассчитывали  $PaO_2/FiO_2$  (отношение уровня парциального давления кислорода к фракции вдыхаемого кислорода – индекс р/ф),  $P(A-a)O_2$  – альвеолярно-артериальную разницу по кислороду,  $Qs/Qt$  – внутрилегочное шунтирование крови. Эффективность отхождения мокроты до и после сеанса оценивали в баллах: 0 – отсутствие или скудное отхождение мокроты, 1 – продуктивное поступление мокроты. Кроме того, перед проведением сеансов стимуляции кашля и через 20 мин после нее измеряли максимальную инспираторную емкость легких (МИЕЛ). Данное измерение проводили по ранее описанной И. А. Козловым и др. технологии [3] с помощью побудительного спирометра Coach-2 (фирмы Smiths Medical, США). Методика проведения спирометрии: пациент делает полный выдох, затем берет в рот загубник, далее медленно делает максимально глубокий вдох, далее – выдох в атмосферу, затем – снова максимальный вдох. Это измерение проводили трижды, вычисляли средний показатель МИЕЛ. Регистрировали любые нежелательные явления в связи с проведением процедуры.

Статистический анализ выполнен с помощью программы Statistica 10.0 (разработчик – Stat Soft. Inc.). Полученные в ходе исследования результаты оценены согласно закону нормального распределения в соответствии с критерием Шапиро – Уилка. Материалы исследования подвергнуты статистической обработке с использованием методов параметрического и непараметрического анализа. В случае описания количественных показателей, имеющих нормальное распределение, производили расчет средних арифметических величин (M) и стандартных отклонений (SD). Совокупности количественных показателей, распределение которых отличалось от нормального, описывали при помощи значений медианы (Me) и 10-го и 90-го перцентилей. Статистическую значимость различий количественных показателей, имеющих нормальное распределение между группами, оценивали при помощи однофакторного дисперсионного анализа путем расчета критерия F с поправкой на множественные сравнения Бонферрони. При сравнении нескольких выборок количественных данных, имеющих распределение, отличное от нормального, использовали критерий Краскела – Уоллиса. Сравнение номинальных данных проводили при помощи критерия  $\chi^2$  Пирсона и точного критерия Фишера. Статистически значимыми считали показатели при  $p < 0,05$ .

## Результаты

У подавляющего большинства пациентов всех групп (86,7%) до стимуляции кашля зафиксировано плохое отхождение мокроты. После процедуры отхождение мокроты значительно улучшилось, о чем свидетельствовал статистически значимый рост числа больных с продуктивным кашлем (табл. 2).

Наибольшее положительное воздействие выявлено при использовании механического инсуффлятор-аспиратора – количество пациентов с продуктивным отхождением мокроты возросло в 5,3 раза ( $p < 0,0007$ ). После проведения сеанса РЕР-терапии прибором Asarella этот показатель также значительно увеличился в 4,25 раза ( $p < 0,0009$ ) со статистической значимостью различий между группами ( $p < 0,001$ ). В контрольной группе статистически значимых изменений после сеанса не получено. Средний показатель МИЕЛ до физиотерапевтических процедур находился на уровне 900–1 000 мл (табл. 3). Однако более чем у половины пациентов этот показатель был в диапазоне низких значений (200–800 мл), что свидетельствовало о нарушении функции внешнего дыхания, и только у 15,8% больных он составлял более 1 500 мл. Сеанс аппаратной респираторной терапии у пациентов 1-й и 2-й групп сопровождался значимым увеличением МИЕЛ (на 42,2 и 60,0% соответственно,  $p = 0,000001$ ). Наибольший прирост МИЕЛ после сеанса отмечен во 2-й группе с высокой значимостью различий по сравнению с 1-й группой ( $p < 0,001$ ). Число больных, имеющих МИЕЛ 1 500 мл и более, возросло в 1-й группе в 2,1 раза ( $p < 0,01$ ) и в 2,2 раза ( $p < 0,01$ ) во 2-й группе. В контрольной группе средний прирост МИЕЛ после сеанса составил лишь 11,6%, а у 23 (57,5%) из 40 пациентов прирост находился в диапазоне 50–150 мл, что статистически значимо отличается от вышеописанных изменений у больных двух других групп ( $p < 0,001$ ). Исходные показатели газообмена до сеанса респираторной терапии во всех группах показали, что медианы таких показателей, как  $SaO_2$ ,  $PaO_2$ ,  $PaCO_2$ , находились в пределах нормальных значений (табл. 3). Лишь у 12,7% (7 пациентов) индекс р/ф был ниже 300 мм рт. ст. По сравнению с 1-й и 3-й группами величина  $SaO_2$  во 2-й группе статистически значимо выросла после сеанса ( $p = 0,017$ ), так же как и прирост данного показателя по сравнению с 1-й группой ( $p = 0,04$ ).  $PaCO_2$  после сеанса во 2-й группе статистически значимо снизилось по абсолютной

**Таблица 2. Продуктивное отхождение мокроты в послеоперационном периоде при проведении различных методов респираторной терапии у кардиохирургических больных (число больных, % от общего количества)**

Table 2. Productive evacuation of sputum in the postoperative period when different methods of respiratory therapy are used in cardiac surgery patients (number of patients, % of the total number)

Параметры	1-я группа, n = 40	2-я группа, n = 40	3-я группа, n = 40
Продуктивное отхождение мокроты до сеанса	4 (10,0%)	6 (15,0%)	6 (15,0%)
Продуктивное отхождение мокроты после сеанса	17 (42,5%) $p = 0,0009$	32 (80,0%) $p = 0,0007$	7 (17,5%) $p = 0,56$

**Таблица 3.** Сравнительная характеристика некоторых показателей газообмена и параметров внешнего дыхания при проведении различных методов респираторной терапии (медиана, 10-й и 90-й процентиля или  $M \pm SD$ )Table 3. Comparative characteristics of some gas exchange parameters and external respiration parameters during different methods of respiratory therapy (median, 10th and 90th percentiles or  $M \pm SD$ )

Параметры	Асапелла, 1-я группа, $n = 40$	Comfort Cough Plus, 2-я группа, $n = 40$	Контроль, 3-я группа, $n = 40$	$p$ по ср. $\Delta$
МИЕЛ, мл до после Ср. $\Delta = 358,7$ $p = 0,000001$	900 (475–1 650) 1 200 (600–2 500)	1 000 (500–1 750) 1 600 (1 400–2 800) Ср. $\Delta = 651,2$ $p = 0,000001$	700 (400–1 100) 776 $\pm$ 249 Ср. $\Delta = 82,5$ $p = 0,007$	$p_{1-2} < 0,001$ $p_{1-3} < 0,001$ $p_{2-3} < 0,001$
SrO <sub>2</sub> , % до после Ср. $\Delta = 1,825$ $p = 0,000009$	93,1 $\pm$ 2,2 94,9 $\pm$ 1,8 Ср. $\Delta = 1,825$ $p = 0,000009$	92,0 $\pm$ 3,4 96,0 $\pm$ 2,4 Ср. $\Delta = 3,5$ $p = 0,000001$	95 (91,9–97,0) 94,5 (91,0–97,1) Ср. $\Delta = 0,075$ $p = 0,667$	$p_{1-2} = 0,013$ $p_{1-3} < 0,001$ $p_{2-3} < 0,001$
PaCO <sub>2</sub> , мм рт. ст. до после Ср. $\Delta = 0,025$ $p = 0,95$	37,75 $\pm$ 2,99 37,78 $\pm$ 3,28 Ср. $\Delta = 0,025$ $p = 0,95$	38,1 $\pm$ 3,4 36,1 $\pm$ 3,5 Ср. $\Delta = -1,925$ $p = 0,00048$	38 (34,0–42,1) 37,50 $\pm$ 3,26 Ср. $\Delta = -0,975$ $p = 0,053$	$p_{1-2} = 0,002$ $p_{1-3} = 0,376$ $p_{2-3} = 0,141$
PaO <sub>2</sub> , мм рт. ст. до после Ср. $\Delta = -0,7$ $p = 0,617$	72,68 $\pm$ 7,90 71,98 $\pm$ 7,80 Ср. $\Delta = -0,7$ $p = 0,617$	74,4 $\pm$ 10,2 74,9 $\pm$ 10,9 Ср. $\Delta = 0,55$ $p = 0,86$	73,30 $\pm$ 9,99 72,9 $\pm$ 11,4 Ср. $\Delta = -0,35$ $p = 0,805$	$p_{1-2} = 0,891$ $p_{1-3} = 0,966$ $p_{2-3} = 0,952$
SaO <sub>2</sub> , % до после Ср. $\Delta = -0,3475$ $p = 0,264$	94,9 $\pm$ 1,7 94,6 $\pm$ 2,3 Ср. $\Delta = -0,3475$ $p = 0,264$	94,5 $\pm$ 3,2 95,6 $\pm$ 2,9 Ср. $\Delta = 1,0175$ $p = 0,017$	95,7 (91,1–98,6) 96,3 (91,5–98,2) Ср. $\Delta = -0,2$ $p = 0,894$	$p_{1-2} = 0,04$ $p_{1-3} = 0,112$ $p_{2-3} = 0,904$
Qsp/Qt, % до после Ср. $\Delta = 0,4275$ $p = 0,607$	13,5 $\pm$ 5,6 13,9 $\pm$ 5,7 Ср. $\Delta = 0,4275$ $p = 0,607$	16,9 $\pm$ 9,1 16,3 $\pm$ 7,8 Ср. $\Delta = -0,5925$ $p = 0,55$	13,70 $\pm$ 8,82 13,20 $\pm$ 8,07 Ср. $\Delta = -0,4275$ $p = 0,688$	$p_{1-2} = 0,965$ $p_{1-3} = 0,803$ $p_{2-3} = 0,972$
Индекс p/f, мм рт. ст. до после Ср. $\Delta = -6,75$ $p = 0,287$	348,6 $\pm$ 36,2 341,9 $\pm$ 36,4 Ср. $\Delta = -6,75$ $p = 0,287$	353,3 $\pm$ 47,4 357,0 $\pm$ 52,1 Ср. $\Delta = 0$ $p = 0,861$	350,0 $\pm$ 47,2 349,0 $\pm$ 53,4 Ср. $\Delta = -1,825$ $p = 0,791$	$p_{1-2} = 0,600$ $p_{1-3} = 0,878$ $p_{2-3} = 0,912$
P(A-O <sub>2</sub> ), мм рт. ст. до после Ср. $\Delta = -0,875$ $p = 0,06$	0,70 $\pm$ 0,12 0,65 $\pm$ 0,13 Ср. $\Delta = -0,875$ $p = 0,06$	0,72 $\pm$ 0,09 0,73 $\pm$ 0,10 Ср. $\Delta = 0,625$ $p = 0,8$	0,71 $\pm$ 0,09 0,69 $\pm$ 1,10 Ср. $\Delta = 1$ $p = 0,138$	$p_{1-2} = 0,353$ $p_{1-3} = 0,522$ $p_{2-3} = 0,958$

Примечание:  $p$  – достоверность различий внутри групп до и после проведения сеанса,  $p_{1-2}$ ,  $p_{1-3}$ ,  $p_{2-3}$  – статистическая значимость различий между 1-й и 2-й группой, 1-й и 3-й группой, 2-й и 3-й группой соответственно по среднему приросту значений (Ср. $\Delta$ )

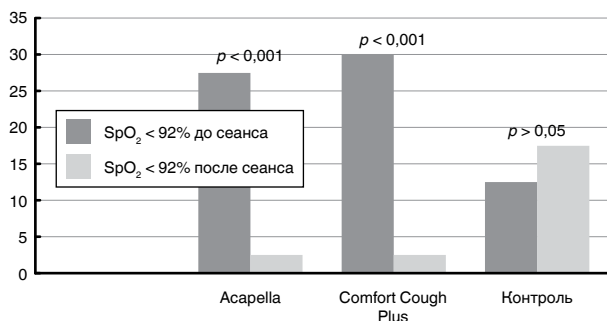
величине ( $p = 0,00048$ ), отмечено также достоверное снижение  $\Delta$ ср. по сравнению с 1-й группой ( $p = 0,04$ ). Индексы p/f, Qs/Qt до и после сеанса во всех группах значимо не изменились.

Альвеоларно-артериальная разница по кислороду также статистически значимо не изменилась во всех группах. Только у 3 (3,75%) пациентов 1-й и 2-й групп наблюдалось снижение данного показателя в среднем на 60%, при этом у них отмечался значительный (более чем в 3 раза) прирост МИЕЛ. После сеанса выявлено статистически значимое увеличение SrO<sub>2</sub> в 1-й и 2-й группах ( $p = 0,000009$  и  $p = 0,000001$  соответственно) по сравнению с контрольной, а прирост данного показателя во 2-й группе оказался статистически значимо выше, чем в 1-й ( $p < 0,001$ ). Наибольшие изменения в ча-

стоте встречаемости пациентов с SrO<sub>2</sub> ниже 92% до и после проведения сеанса выявлены у больных 1-й и 2-й групп (рис.). Так в 1-й группе после проведения сеанса стимуляции кашля число больных с SrO<sub>2</sub> < 92% статистически значимо ( $p < 0,001$ ) уменьшилось в 11 раз – с 11 (27,5%) до 1 (2,5%) пациента, во 2-й группе снизилось в 12 раз – с 12 (30%) до 1 (2,5%) больного,  $p < 0,001$ , однако различия между этими группами были незначимыми ( $p = 0,096$ ). В контрольной группе число больных с SrO<sub>2</sub> менее 92% до и после сеанса значимо не изменилось.

### Обсуждение результатов

Улучшение дренажной функции бронхиального дерева и направленная на это стимуляция кашля у



**Рис.** Частота встречаемости нарушения оксигенирующей функции легких (%) до и после стимуляции кашля у пациентов с использованием различных видов респираторной терапии по сравнению с контрольной группой

**Fig.** Frequency of pulmonary oxygenation function impairment (%) before and after cough stimulation in patients using different types of respiratory therapy compared with Control Group

кардиохирургических пациентов – обязательное условие их ранней активизации после операций. В настоящее время появляются новые методики, аппаратура, способствующие восстановлению дренажной функции легких и улучшению газообмена. В литературе выделяют несколько методов, направленных на очищение дыхательных путей у пациентов с усиленной продукцией мокроты и бронхообструктивным синдромом. К их числу относится побудительная спирометрия, которая оказывает положительное влияние на оксигенирующую функцию легких пациентов, увеличивает эффективность профилактики и лечения ателектазирования легочной ткани после различных оперативных вмешательств, прежде всего кардиохирургических и торакальных [3, 6, 18]. Достаточно новым подходом является виброакустический массаж, основанный на воздействии на легочную ткань звукового сигнала различной частоты. Лечебный эффект аппарата обусловлен тремя основными механизмами: улучшением дренажа бронхов, рекрутированием альвеол и улучшением вентиляционно-перфузионных соотношений в легких. В литературе имеется сообщение о первых успешных результатах применения этого метода у кардиохирургических больных [2, 4]. Вибрационная терапия с использованием положительного давления на выдохе (PEP-терапия) была разработана и введена в клиническую практику в качестве альтернативы обычной физиотерапии [13], а устройства с вибрационным компонентом достаточно широко применяются для лечения пациентов с заболеваниями органов дыхания, тренировки дыхания в послеоперационном периоде. Клинические исследования показали улучшение трахеобронхиального клиренса и комфорта пациентов с помощью этих устройств по сравнению со стандартными методами [7]. Имеются также сообщения о применении для респираторной реабилитации внешних высокочастотных компрессионных устройств (жилетов) для очищения дыхательных

путей при помощи принудительных высокочастотных малоамплитудных колебаний грудной клетки (до 25 раз в секунду). Компрессор надует жилет, быстро меняя в нем давление воздуха. За счет этого на грудную клетку пациента оказывается ритмичное сдавливающее воздействие, имитирующее естественные кашлевые движения. В нескольких исследованиях [21, 29] сообщается, что такое устройство способствует улучшению пассажа мокроты при кашле у больных с хроническим фиброзом легких, стабилизации или улучшению оксигенирующей функции легких. Количество публикаций по применению вышеперечисленных методов у кардиохирургических больных очень ограничено, необходимы дополнительные исследования, чтобы определить эффективность аппаратов респираторной физиотерапии и их место в профилактике и лечении респираторных осложнений.

В данной работе мы сравнили эффективность использования механического инсuffлятор-аспиратора, респираторной осцилляторной PEP-терапии с помощью Acapella DH Green и классического мануального массажа грудной клетки с перкуссией и вербальной стимуляцией кашля. Эффекты инсuffлятор-аспиратора достигаются за счет нескольких механизмов. На фоне перкуссии происходит мобилизация мокроты за счет дробления ее на более мелкие составляющие. На втором этапе используется лицевая маска, через которую создают колебания давления в дыхательных путях от положительного до отрицательного, что способствует расправлению коллабированных альвеол, а также воспроизводятся эффекты методов вспомогательной респираторной поддержки, таких как неинвазивная масочная вентиляция легких и высокопоточная оксигенотерапия. PEP-терапия основана на применении положительного давления на выдохе. В некоторых устройствах в дополнение к положительному давлению реализован эффект обратной осциллирующей волны, близкой к частоте колебания ресничек эпителия трехеобронхиального дерева, что улучшает мобилизацию и пассаж мокроты [10, 24].

В нашем исследовании использование как аспиратора-инсuffлятора, так и осцилляторной PEP-терапии с помощью Acapella способствовало расправлению альвеол и стимуляции кашлевого толчка, что в итоге облегчало эвакуацию мокроты. Об увеличении объема вентилируемых участков легких косвенно может свидетельствовать полученный прирост максимальной инспираторной емкости легких. У обследованных пациентов всех групп до применения какого-либо метода стимуляции кашля в 54,2% случаев наблюдалось снижение МИЕЛ в диапазоне 200–800 мл, что может свидетельствовать о нарушении функции внешнего дыхания у кардиохирургических больных. После сеанса, даже при однократном его применении, статистически значимое увеличение МИЕЛ отмечено во всех группах, однако во 2-й группе прирост МИЕЛ был самым большим (Ср.Δ = 651,25 мл, p < 0,001),

что может свидетельствовать о наиболее высокой эффективности использования аспиратора-инсуффлятора. Следует отметить, что эффект применения осцилляторной РЕР-терапии был также достаточно высок, значимо отличаясь по приросту в сравнении с контрольной группой. Учитывая, что после сеанса в 1-й и 2-й группах, в отличие от контрольной, статистически значимо (в 4,25 и 5,3 раза соответственно) увеличилось число пациентов с продуктивным отхождением мокроты, можно говорить о положительном влиянии на ее пассаж. Эти эффекты близки к полученным при использовании виброжилетов и осцилляторной терапии с положительным давлением в конце выдоха (РЕР-терапии), помогающих откашливанию бронхиального секрета и способствующих стабилизации или улучшению оксигенирующей функции легких у пациентов различного профиля (хирургического, у больных с хронической бронхоэктатической болезнью и обструктивной болезнью легких) [9, 16, 22, 28]. Небольшие клинические исследования у больных после аортокоронарного шунтирования и торакальных операций показали улучшение трахеобронхиального клиренса и комфорта пациентов в результате РЕР-терапии по сравнению со стандартными методами физиотерапии, что достигается за счет прироста максимальной инспираторной емкости легких и увеличения насыщения крови кислородом и связано, скорее всего, с улучшением дренажной функции легких [2, 3, 5, 7]. Наше исследование продемонстрировало возможность использования данной методики у более широкого спектра кардиохирургических больных, в том числе после протезирования клапанов сердца и операций на торакоабдоминальном отделе аорты.

Стимуляция кашля с помощью инсуффлятора-аспиратора и осцилляторной РЕР-терапии у большинства больных сопровождалась улучшением оксигенирующей функции легких. Отмечался значительный прирост  $SpO_2$  в этих группах после сеанса, в контрольной же группе улучшения оксигенации не произошло. Наиболее эффективной оказалась стимуляция кашля с применением инсуффлятора-аспиратора, о чем свидетельствует наибольший прирост  $SpO_2$  и  $SaO_2$  в артериальной крови с одновременным статистически значимым снижением  $PaCO_2$  по сравнению с 1-й группой. Учитывая также, что число больных, имевших значения  $SpO_2 < 92\%$ , статистически значимо уменьшилось после сеанса в 1-й и 2-й группах в 11 и 12 раз соответственно ( $p = 0,001$ ), можно говорить, что даже проведение однократного сеанса респираторной терапии обоими методами приводило к улучшению показателей внешнего дыхания и оксигенирующей функции легких. Этот эффект оказался наиболее выражен при использовании аспиратора-инсуффлятора.

Мы выявили, что проведение однократного мануального массажа с перкуссией грудной клетки, который требует значительных человеческих ресурсов и является оператор-зависимым, не оказало зна-

чимого влияния на функцию внешнего дыхания и параметры газообмена, несмотря на использование побудительной спирометрии, которая, как известно, сама по себе при многократном применении положительно влияет на газообменную функцию легких. В исследовании И. А. Козлова показано, что побудительная спирометрия, проводимая в раннем послеоперационном периоде, оказывает положительное влияние на показатели газообмена и внешнего дыхания, поскольку уменьшает частоту эпизодов снижения индекса  $p/f$  после операций с искусственным кровообращением, что может свидетельствовать о снижении микроателектазирования альвеол [3]. Можно предположить, что многократное проведение вибрационных методов воздействия в сочетании с побудительной спирометрией существенно повысит эффективность респираторной терапии и поможет сократить сроки реабилитации пациентов после кардиохирургических вмешательств. Необходимо дальнейшие сравнительные исследования эффективности виброакустического массажа легких и других методов немедикаментозной респираторной реабилитации. Мы не зафиксировали ни одного нежелательного эффекта, связанного с использованием аспиратора-инсуффлятора и спиротренажера Asarella у кардиохирургических больных. Это дает основание полагать, что применяемые методы респираторной терапии обеспечивают безопасную мобилизацию секрета, не приводят к травмированию грудной клетки и послеоперационной раны.

**Ограничения исследования.** Авторы указывают на то, что в данном исследовании изучался однократный сеанс применения сравниваемых методов стимуляции пассажа бронхиального секрета, в то время как более показательным было бы их применение в течение нескольких суток с периодичностью 2–3 сеанса в сутки. Измерение максимальной инспираторной емкости с помощью побудительного спирометра отражает тенденцию в динамике данного показателя и не может быть признано прецизионным в сравнении со стандартными методиками прикроватной спирометрии. Однако в ранние сроки после экстубации трахеи проведение полноценного спирометрического обследования у большинства кардиохирургических пациентов невозможно в связи с тяжестью их состояния.

## Выводы

1. Затруднения в эвакуации мокроты при кашле в ранние сроки после экстубации трахеи наблюдаются у 86,7% кардиохирургических больных. В отличие от контрольной группы, проведение однократного сеанса РЕР-терапии или физиотерапии с использованием аспиратора-инсуффлятора сопровождается значительным улучшением пассажа бронхиального секрета.

2. Наиболее значимые изменения показателей газообмена выявлены при использовании аспиратора-инсуффлятора, что подтверждается более выраженным

по сравнению с осцилляторной РЕР-терапией и контролем приростом максимальной инспираторной емкости легких, SpO<sub>2</sub>, SaO<sub>2</sub> при одновременном снижении PaCO<sub>2</sub>, что может свидетельствовать об увеличении объема вентилируемых альвеол.

3. Процедуры, направленные на стимуляцию кашля (вибромассаж грудной клетки с помощью жилета и переменного давления в дыхательных путях, осцилляторная РЕР-терапия), все пациенты переносили удовлетворительно, осложнений и отказов от их выполнения не было.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

**Conflict of Interests.** The authors state that they have no conflict of interests.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Баутин А. Е., Кашерининов И. Ю., Лалетин Д. А. и др. Распространенность и структура острой дыхательной недостаточности в раннем послеоперационном периоде кардиохирургических вмешательств // Вестник интенсивной терапии. – 2016. – № 4. – С. 19–26.
2. Еременко А. А., Зюльева Т. П., Калинина А. А. и др. Оценка эффективности виброакустического массажа легких при самостоятельном дыхании у пациентов после кардиохирургических операций // Клиническая и экспериментальная хирургия. Журнал им. акад. Б. В. Петровского. – 2020. – Т. 8, № 4. – С. 126–134.
3. Козлов И. А., Дзыбинская Е. В., Романов А. А. и др. Коррекция нарушения оксигенирующей функции легких при ранней активизации кардиохирургических больных // Общая реаниматология. – 2009. – № 2. – С. 37–43.
4. Салухов В. В., Харитонов М. А., Макаревич А. М. и др. Опыт применения аппарата Bark Vibrolung в комплексном лечении внебольничной пневмонии // Вестник Российской Военно-медицинской академии. – 2021. – Т. 23, № 1. – С. 51–58. doi: org/10.17816/brmma63576.
5. Abhaya S., Mahadik A., Abhijit D. et al. The comparison between blow bottle positive expiratory pressure (BBPEP) device versus acapella on oxygenation and peak expiratory flow rate (PEFR) among patients with open heart surgery – a comparative study // IJCRT. – 2021. – P. 2320–2882. http: /Users/Анестезиология/Downloads/Edited2105426\_207175.pdf.
6. Agostini P., Singh S. Incentive spirometry following thoracic surgery: what should we be doing? // Physiotherapy. – 2009. – Vol. 95, № 2. – P. 76–82. doi: org/10.1016/j.physio.2008.11.003.
7. Alam M., Hussain S., Shehzad M. I. et al. comparing the effect of incentive spirometry with acapella on blood gases in physiotherapy after coronary artery bypass graft // Cureus. – 2020. – Vol. 12, № 2. doi:org/10.7759/cureus.6851.
8. Beningfield A., Jones A. Peri-operative chest physiotherapy for paediatric cardiac patients: a systematic review and meta-analysis // Physiotherapy. – 2018. – Vol. 104, № 3. – P. 51–263. doi:org/10.1016/j.physio.2017.08.011.
9. Cho Y. J., Ryu H., Lee J. et al. A randomised controlled trial comparing incentive spirometry with the Acapella\_ device for physiotherapy after thoracoscopic lung resectionsurgery // Anaesthesia. – 2014. – Vol. 69. – P. 891–898. doi: org/10.1111/anae.12750.
10. Demchuk A., Chatburn R. Performance characteristics of positive expiratory pressure devices // Resp. Care. – 2021. – Vol. 66, № 3. – P. 482–493. doi: org/10.4187/respcare.08150.
11. Erdfelder E., Faul F., Buchner A. G. POWER: A general power analysis program. – 1996. – Vol. 28, № 1. – P. 1–11. doi:10.3758/bf03203630.
12. Esmaili R., Nasiri E., Ghafari R. et al. Frequency rate of atelectasisin patients following coronary artery bypass graft and its associated factors at mazandaran heart center in 2013–2014 // Med. Arch. – 2015. – Vol. 69, № 2. – P. 72–76. doi: org/10.5539/gjhs.v7n7p97.
13. Gaskin L., Corey M., Shin J. et al. Long-term trial of conventional postural drainage and percussion versus positive expiratory pressure // J. Pediatr. Pulmonol. – 1997. – Vol. 131. – P. 570–574.
14. Hassoun-Kheir N., Hussein K., Abboud Z. et al. Risk factors for ventilator-associated pneumonia following cardiac surgery: case-control study // J. Hosp. Infect. – 2020. – Apr 10. – S0195-6701(20)30184-5. Epub ahead of print. PMID: 32283174. doi: 10.1016/j.jhin.2020.04.009.
15. Laghnam D., Lê M. P., Srour A. et al. Diaphragm paralysis after cardiac surgery: a frequent cause of post-operative respiratory failure // J. Cardiothorac. Vasc. Anesth. – 2021. – Vol. 35, № 11. – P. 3241–3247. doi: 10.1053/j.jvca.2021.02.023.

## REFERENCES

1. Bautin A.E., Kasherininov I.Yu., Laletin D.A. et al. Prevalence and causes of the postoperative acute respiratory failure in the cardiac surgery. *Vestnik Intensivnoy Terapii*, 2016, no. 4, pp. 19–26. (In Russ.)
2. Eremenko A.A., Zyulyaeva T.P., Kalinina A.A. et al. Evaluation of the effectiveness of vibroacoustic lung massage for spontaneous respiration in patients after cardiac surgery. *Klinicheskaya i Eksperimentalnaya Khirurgiya. Journal Im Akad. B. V. Petrovskogo*, 2020, vol. 8, no. 4, pp. 126–134. (In Russ.)
3. Kozlov I.A., Dzybinskaya E.V., Romanov A.A. et al. Management of pulmonary oxygenation dysfunction in early activation of cardiac surgery patients. *Obschaya Reanimatologiya*, 2009, no. 2, pp. 37–43. (In Russ.)
4. Salukhov V.V., Kharitonov M.A., Makarevich A.M. et al. Experience of using Bark Vibrolung device in the complex treatment of community-acquired pneumonia. *Vestnik Rossiiskoy Voennno-Meditsinskoy Akademii*, 2021, vol. 23, no. 1, pp. 51–58. (In Russ.) doi: org/10.17816/brmma63576.
5. Abhaya S., Mahadik A., Abhijit D. et al. The comparison between blow bottle positive expiratory pressure (BBPEP) device versus acapella on oxygenation and peak expiratory flow rate (PEFR) among patients with open heart surgery – a comparative study. *IJCRT*, 2021, pp. 2320–2882. http: /Users/Анестезиология/Downloads/Edited2105426\_207175.pdf.
6. Agostini P., Singh S. Incentive spirometry following thoracic surgery: what should we be doing? *Physiotherapy*, 2009, vol. 95, no. 2, pp. 76–82. doi: org/10.1016/j.physio.2008.11.003.
7. Alam M., Hussain S., Shehzad M.I. et al. comparing the effect of incentive spirometry with acapella on blood gases in physiotherapy after coronary artery bypass graft. *Cureus*, 2020, vol. 12, no. 2. doi:org/10.7759/cureus.6851.
8. Beningfield A., Jones A. Peri-operative chest physiotherapy for paediatric cardiac patients: a systematic review and meta-analysis. *Physiotherapy*, 2018, vol. 104, no. 3, pp. 51–263. doi:org/10.1016/j.physio.2017.08.011.
9. Cho Y.J., Ryu H., Lee J. et al. A randomised controlled trial comparing incentive spirometry with the Acapella\_ device for physiotherapy after thoracoscopic lung resectionsurgery. *Anaesthesia*, 2014, vol. 69, pp. 891–898. doi:org/10.1111/anae.12750.
10. Demchuk A., Chatburn R. Performance characteristics of positive expiratory pressure devices. *Resp. Care*, 2021, vol. 66, no. 3, pp. 482–493. doi: org/10.4187/respcare.08150.
11. Erdfelder E., Faul F., Buchner A.G. POWER: A general power analysis program. 1996, vol. 28, no. 1, pp. 1–11. doi:10.3758/bf03203630.
12. Esmaili R., Nasiri E., Ghafari R. et al. Frequency rate of atelectasisin patients following coronary artery bypass graft and its associated factors at mazandaran heart center in 2013–2014. *Med. Arch.*, 2015, vol. 69, no. 2, pp. 72–76. doi: org/10.5539/gjhs.v7n7p97.
13. Gaskin L., Corey M., Shin J. et al. Long-term trial of conventional postural drainage and percussion versus positive expiratory pressure. *J. Pediatr. Pulmonol.*, 1997, vol. 131, pp. 570–574.
14. Hassoun-Kheir N., Hussein K., Abboud Z. et al. Risk factors for ventilator-associated pneumonia following cardiac surgery: case-control study. *J. Hosp. Infect.*, 2020, Apr 10, S0195-6701(20)30184-5. Epub ahead of print. PMID: 32283174. doi: 10.1016/j.jhin.2020.04.009.
15. Laghnam D., Lê M.P., Srour A. et al. Diaphragm paralysis after cardiac surgery: a frequent cause of post-operative respiratory failure. *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth.*, 2021, vol. 35, no. 11, pp. 3241–3247. doi: 10.1053/j.jvca.2021.02.023.



16. Lee A.L., Burge A.T., Holland A.E. Positive expiratory pressure therapy versus other airway clearance techniques for bronchiectasis // *Cochrane Database Syst. Rev.* - 2017. - Vol. 27. - P. 9-13. doi.org/10.1002/14651858.CD011699.pub2.
17. Ma L., Huang Y. Phrenic nerve injury is a differential diagnosis of hypoxemia after video-assisted thoracoscopic thymectomy: 2 cases report and literature review // *Chinese Med. Sci. J.* - 2020. - Т. 35, № 2. - P. 191-194. doi.org/10.24920/003648.
18. Manapunsopée S., Manapunsopée S., Thanakiatpinyo T. et al. Effectiveness of incentive spirometry on inspiratory muscle strength after coronary artery bypass graft surgery // *Heart Lung and Circulation.* - 2019. - Vol. 29. - № 8. - P. 1180-1186. doi.org/10.1016/j.hlc.2019.09.009.
19. Mathis M. R., Duggal N. M., Likosky D. S. et al. Intraoperative mechanical ventilation and postoperative pulmonary complications after cardiac surgery // *Anesthesiology.* - 2019. - Vol. 131. - P. 1046-1062. doi.org/10.1097/ALN.0000000000002909.
20. Morgan S. E., Mosakowski S., Giles B. L. et al. Variability in expiratory flow requirements among oscillatory positive expiratory pressure devices // *Can. J. Respir. Ther.* - 2020. - Vol. 56. - P. 7-10. doi.org/10.29390/cjrt-2019-025.
21. Nicolini A., Cardini F., Landucci N. et al. Effectiveness of treatment with high-frequency chest wall oscillation in patients with bronchiectasis // *BMC Pulm. Med.* - 2013. - Vol. 13, № 1. doi.org/10.1186/1471-2466-13-21.
22. Pieczkoski S. M., de Oliveira A. L. et al. Positive expiratory pressure in postoperative cardiac patients in intensive care: A randomized controlled trial // *Clin. Rehabilitation.* - 2020. - Vol. 35, № 5. - P. 681-691. doi.org/10.1177/0269215520972701.
23. Saffari N. H., Nasiri E., Mousavinasab S. N. et al. Frequency rate of atelectasis in patients following coronary artery bypass graft and its associated factors at Mazandaran Heart Center in 2013-2014 // *Glob. J. Health Sci.* - 2015. - Vol. 7, № 7. - P. 97-105. doi.org/10.5455/medarh.2015.69.72-76.
24. Santos M., Milross M., Eisenhuth J. et al. Pressures and oscillation frequencies generated by bubble-positive expiratory pressure devices // *Resp. Care.* - 2017. - Vol. 62, № 4. - P. 444-450. doi.org/10.4187/respcare.05164.
25. Stephen M., Bondalapati P., Megally M. et al. positive expiratory pressure therapy with and without oscillation and hospital length of stay for acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease // *Int. J. Chronic Obstr. Pulm. Dis.* - 2019. - Vol. 14. - P. 2553-2561. doi.org/10.2147/CORD.S213546.
26. Subin S., Aaron P. Chest Physiotherapy or Techniques in Cardio-pulmonary Physiotherapy? // *J. Physiother.* - 2021. - Vol. 1, № 2. - P. 39-42. http://C:/Users/Анестезиология/Downloads/RJPT\_Article6\_SubinSJuly\_2021\_V1\_Issue2\_39-42.pdf.
27. Tse J., Wada K., Wang Y. et al. Impact of oscillating positive expiratory pressure device use on post-discharge hospitalizations: a retrospective cohort study comparing patients with copd or chronic bronchitis using the aerobika and acapella devices // *Int. J. Chron. Obstruct. Pulmon. Dis.* - 2020. - Vol. 15. - P. 2527-2538. doi.org/10.2147/CORD.S256866.
28. Van F. H., Dunn D. K., McNinch N. L. et al. Evaluation of functional characteristics of 4 oscillatory positive pressure devices in a simulated cystic fibrosis model // *Respir. Care.* - 2017. - Vol. 62, № 4. - P. 451-458. doi.org/10.4187/respcare.04570.
29. Wheatley C. M., Baker S. E., Daines C. M. et al. Influence of the Vibralong Acoustical Percussor on pulmonary function and sputum expectoration in individuals with cystic fibrosis // *Ther. Adv. Respir. Dis.* - 2018. - Vol. 12. - P. 1-15. doi.org/10.1177/1753466618770997.
16. Lee A.L., Burge A.T., Holland A.E. Positive expiratory pressure therapy versus other airway clearance techniques for bronchiectasis. *Cochrane Database Syst. Rev.*, 2017, vol. 27, pp. 9-13. doi.org/10.1002/14651858.CD011699.pub2.
17. Ma L., Huang Y. Phrenic nerve injury is a differential diagnosis of hypoxemia after video-assisted thoracoscopic thymectomy: 2 cases report and literature review. *Chinese Med. Sci. J.*, 2020, vol. 35, no. 2, pp. 191-194. doi.org/10.24920/003648.
18. Manapunsopée S., Manapunsopée S., Thanakiatpinyo T. et al. Effectiveness of incentive spirometry on inspiratory muscle strength after coronary artery bypass graft surgery. *Heart Lung and Circulation*, 2019, vol. 29, no. 8, pp. 1180-1186. doi.org/10.1016/j.hlc.2019.09.009.
19. Mathis M.R., Duggal N.M., Likosky D.S. et al. Intraoperative mechanical ventilation and postoperative pulmonary complications after cardiac surgery. *Anesthesiology*, 2019, vol. 131, pp. 1046-1062. doi.org/10.1097/ALN.0000000000002909.
20. Morgan S.E., Mosakowski S., Giles B.L. et al. Variability in expiratory flow requirements among oscillatory positive expiratory pressure devices. *Can. J. Respir. Ther.*, 2020, vol. 56, pp. 7-10. doi.org/10.29390/cjrt-2019-025.
21. Nicolini A., Cardini F., Landucci N. et al. Effectiveness of treatment with high-frequency chest wall oscillation in patients with bronchiectasis. *BMC Pulm. Med.*, 2013, vol. 13, no. 1. doi.org/10.1186/1471-2466-13-21.
22. Pieczkoski S.M., de Oliveira A.L. et al. Positive expiratory pressure in postoperative cardiac patients in intensive care: A randomized controlled trial. *Clin. Rehabilitation*, 2020, vol. 35, no. 5, pp. 681-691. doi.org/10.1177/0269215520972701.
23. Saffari N.H., Nasiri E., Mousavinasab S.N. et al. Frequency rate of atelectasis in patients following coronary artery bypass graft and its associated factors at Mazandaran Heart Center in 2013-2014. *Glob. J. Health Sci.*, 2015, vol. 7, no. 7, pp. 97-105. doi.org/10.5455/medarh.2015.69.72-76.
24. Santos M., Milross M., Eisenhuth J. et al. Pressures and oscillation frequencies generated by bubble-positive expiratory pressure devices. *Resp. Care*, 2017, vol. 62, no. 4, pp. 444-450. doi.org/10.4187/respcare.05164.
25. Stephen M., Bondalapati P., Megally M. et al. positive expiratory pressure therapy with and without oscillation and hospital length of stay for acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease. *Int. J. Chronic Obstr. Pulm. Dis.* 2019, vol. 14, pp. 2553-2561. doi.org/10.2147/CORD.S213546.
26. Subin S., Aaron P. Chest Physiotherapy or Techniques in Cardio-pulmonary Physiotherapy? *J. Physiother.*, 2021, vol. 1, no. 2, pp. no. 42. C:/Users/Анестезиология/Downloads/RJPT\_Article6\_SubinSJuly\_2021\_V1\_Issue2\_39-42.pdf.
27. Tse J., Wada K., Wang Y. et al. Impact of oscillating positive expiratory pressure device use on post-discharge hospitalizations: a retrospective cohort study comparing patients with copd or chronic bronchitis using the aerobika and acapella devices. *Int. J. Chron. Obstruct. Pulmon. Dis.*, 2020, vol. 15, pp. 2527-2538. doi.org/10.2147/CORD.S256866.
28. Van F.H., Dunn D.K., McNinch N.L. et al. Evaluation of functional characteristics of 4 oscillatory positive pressure devices in a simulated cystic fibrosis model. *Respir. Care*, 2017, vol. 62, no. 4, pp. 451-458. doi.org/10.4187/respcare.04570.
29. Wheatley C.M., Baker S.E., Daines C.M. et al. Influence of the Vibralong Acoustical Percussor on pulmonary function and sputum expectoration in individuals with cystic fibrosis. *Ther. Adv. Respir. Dis.*, 2018, vol. 12, pp. 1-15. doi.org/10.1177/1753466618770997.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

ФГБНУ «Российский научный центр хирургии  
им. акад. Б. В. Петровского»,  
19991, Москва, Абрикосовский пер., д. 2.  
Тел.: 8 (499) 246-58-81.

**Еременко Александр Анатольевич**

член-корреспондент РАН, профессор, доктор медицинских наук, заведующий отделением реанимации и интенсивной терапии II.

E-mail: aerehenko54@mail.ru

ORCID:<http://orcid.org/0000-0001-5809-8563>

## INFORMATION ABOUT AUTHORS:

*Petrovsky Russian Research Center of Surgery,*  
2, *Abrikosovsky Lane,*  
*Moscow, 19991.*  
*Phone: +7 (499) 246-58-81.*

**Aleksandr A. Eremenko**

*Correspondent Member of RAS, Professor,*  
*Doctor of Medical Sciences, Head of Intensive Care*  
*Department II.*

*Email: aerehenko54@mail.ru*

*ORCID:<http://orcid.org/0000-0001-5809-8563>*

**Зюльева Татьяна Петровна**

ведущий научный сотрудник отделения реанимации  
и интенсивной терапии II.

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

ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-3375-2300>

**Рябова Дарья Викторовна**

научный сотрудник, врач – анестезиолог-реаниматолог  
отделения реанимации и интенсивной терапии II.

E-mail: [riabova.daria@yandex.ru](mailto:riabova.daria@yandex.ru)

ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-3694-9328>

**Алферова Алина Павловна**

научный сотрудник отделения реанимации и интенсивной  
терапии II.

E-mail: [alferova\\_94@mail.ru](mailto:alferova_94@mail.ru)

ORCID:<https://orcid.org/0000-0003-2209-6069>

**Tatiana P. Zyulyaeva**

Leading Researcher  
of Intensive Care Department II.

Email: [zyulyaeva@mail.ru](mailto:zyulyaeva@mail.ru)

ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-3375-2300>

**Darya V. Ryabova**

Researcher, Anesthesiologist  
and Emergency Physician of Intensive Care Department II.

Email: [riabova.daria@yandex.ru](mailto:riabova.daria@yandex.ru)

ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-3694-9328>

**Alina P. Alferova**

Researcher of Intensive  
Care Department II.

Email: [alferova\\_94@mail.ru](mailto:alferova_94@mail.ru)

ORCID:<https://orcid.org/0000-0003-2209-6069>