

# Оценка эффективности виброакустического массажа легких при самостоятельном дыхании у пациентов после кардиохирургических операций

## ДЛЯ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ

Зюльева Татьяна Петровна –  
кандидат медицинских наук,  
ведущий научный сотрудник  
отделения кардиореанимации  
и интенсивной терапии  
ФГБНУ РНЦХ им. акад.  
Б.В. Петровского (Москва,  
Российская Федерация)  
E-mail: zyuilyaeva@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-3375-2300>

## Ключевые слова:

виброакустический  
массаж легких, VibroLung,  
отделение реанимации  
и интенсивной терапии,  
кардиохирургические  
больные

Еременко А.А., Зюльева Т.П., Калинина А.А., Розина Н.А.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского», 19991, г. Москва, Российская Федерация

**Цель** – оценить эффективность виброакустического массажа легких с помощью аппарата VibroLung в послеоперационном периоде у кардиохирургических больных по его влиянию на показатели газообмена, параметры внешнего дыхания и пассажа мокроты.

**Материал и методы.** Проспективное исследование проведено у 55 пациентов после плановых кардиохирургических операций, выполненных в ФГБНУ РНЦХ им. академика Б.В. Петровского в 2019 г.

**Критерии включения:** возраст старше 18 лет, самостоятельное дыхание после экстубации трахеи, возможность поддержания адекватного газообмена на фоне ингаляции кислорода, ясное сознание и продуктивный контакт с пациентом, адекватное обезболивание [визуальная аналоговая шкала боли (ВАШ) <2 по 10-балльной шкале].

**Критерии исключения:** необходимость проведения искусственной вентиляции легких (ИВЛ), неинвазивной масочной вентиляции легких или высокопоточной оксигенотерапии, острое нарушение мозгового кровообращения, шоки различной этиологии, экстракорпоральные методы детоксикации. Все показатели газообмена определяли при дыхании пациента воздухом.

**Результаты.** Выявлено, что затруднения в эвакуации мокроты при кашле в ранние сроки после экстубации трахеи наблюдаются у 96,4% кардиохирургических больных. Проведение виброакустического массажа легких аппаратом VibroLung сопровождается значительным улучшением пассажа мокроты. После сеанса показатель эффективности откашливания мокроты возрос в среднем с  $0,04 \pm 0,19$  до  $0,64 \pm 0,79$  баллов ( $p < 0,001$ ). В результате проведения вибромассажа число больных с максимальным инспираторным объемом (МИО) <500 мл уменьшилось с 32,7 до 7,3%, а с МИО >1500 мл возросло с 14,5 до 45,1% ( $p < 0,05$ ).

**Заключение.** Полученное после вибромассажа статистически достоверное увеличение МИО в среднем на 44,1% ( $p < 0,001$ ) наряду с уменьшением на 19,7% ( $p = 0,02$ ) фракции внутрилегочного шунтирования может свидетельствовать об улучшении альвеолярной вентиляции. Виброакустический массаж легких сопровождался улучшением показателей газообмена, о чем свидетельствует статистически достоверный прирост парциального давления  $O_2$  в артериальной крови и индекса  $p/f$  при одновременном снижении  $PaCO_2$  и возрастании насыщения крови кислородом.

**Финансирование.** Данная работа не имела спонсорской поддержки.

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

**Вклад авторов.** Концепция и дизайн исследования, редактирование работы – Еременко А.А.; написание статьи, частичная обработка материала и сбор литературы – Зюльева Т.П.; сбор материала – Калинина А.А.; статистика – Розина Н.А.

**Для цитирования:** Еременко А.А., Зюльева Т.П., Калинина А.А., Розина Н.А. Оценка эффективности виброакустического массажа легких при самостоятельном дыхании у пациентов после кардиохирургических операций // Клиническая и экспериментальная хирургия. Журнал имени академика Б.В. Петровского. 2020. Т. 8, № 4. С. 126–134. DOI: <https://doi.org/10.33029/2308-1198-2020-8-4-126-134>

**Статья поступила в редакцию** 29.04.2020. **Принята в печать** 08.10.2020.

## Evaluation of effectiveness of vibroacoustic lung massage self-breathing in patients after cardiosurgical operations

Eremenko A.A., Zyulyaeva T.P., Kalinina A.A., Rozina N.A.

Petrovsky National Research Center of Surgery, 119991, Moscow, Russian Federation

**Aim.** To study the efficacy of vibroacoustic lung massage with the help of postoperative VibroLung apparatus in cardiosurgical patients by its effect on gas exchange indices, parameters of external breathing and sputum passage.

**Material and methods.** The prospective study included 55 patients aged 19–80 years after elective cardiac surgery in Petrovsky National Research Center of Surgery in 2019. Inclusion criteria: age over 18 years, self-breathing after trachea extubation, possibility to maintain adequate gas exchange against the background of oxygen inhalation, clear consciousness and productive contact with the patient, adequate pain relief (VAS <2 on a 10-score scale). Exclusion criteria: necessity to carry out artificial pulmonary ventilation (IVL), non-invasive mask pulmonary ventilation or high-flow oxygenotherapy, acute cerebral circulation disorder, shocks of various etiologies, extracorporeal detoxification methods. All gas exchange indices were carried out when breathing with air.

**Results.** It has been found that 96.4% of cardiosurgical patients have difficulties in evacuating sputum during coughing in early times after trachea extubation. Vibration-acoustic massage of lungs by VibroLung apparatus is accompanied by significant improvement of sputum passage. After the session, the sputum pumping efficiency increased on average from  $0.04 \pm 0.19$  to  $0.64 \pm 0.79$  points ( $p < 0.001$ ). As a result of vibromassage, the number of patients with maximum inspiratory volume less than 500 ml decreased from 32.7 to 7.3%, and with MIO more than 1500 ml – increased from 14.5 to 45.1% ( $p < 0.05$ ).

**Conclusion.** Statistically significant increase of maximum inspiratory volume after vibromassage on average by 44.1% ( $p < 0.001$ ) along with decrease by 19.7% ( $p = 0.002$ ) of fraction of intralegal shunting can be observed. Vibroacoustic lung massage was accompanied by improvement of gas exchange indices, as evidenced by statistically significant increase of  $O_2$  partial pressure in arterial blood and p/f index with simultaneous decrease of  $PaCO_2$  and increase of blood oxygen saturation.

**Funding.** This work was not sponsored.

**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interests.

**Contribution.** The concept and design of the study, editing the work – Eremenko A.A.; writing an article, partial processing of the material and collecting literature – Zyulyaeva T.P.; collection of material – Kalinina A.A.; statistics – Rozina N.A.

**For citation:** Eremenko A.A., Zyulyaeva T.P., Kalinina A.A., Rozina N.A. Evaluation of effectiveness of vibroacoustic lung massage in self-breathing patients after cardiosurgical operations. *Clinical and Experimental Surgery. Petrovsky Journal*. 2020; 8 (4): 126–34. DOI: <https://doi.org/10.33029/2308-1198-2020-8-4-126-134> (in Russian)

**Received** 29.04.2020. **Accepted** 08.10.2020.

### CORRESPONDENCE

Tatiana P. Zyulyaeva – MD, Leading Researcher of Department of Cardiac Resuscitation and Intensive Care, Petrovsky National Research Center of Surgery (Moscow, Russian Federation)  
E-mail: [zyulyaeva@mail.ru](mailto:zyulyaeva@mail.ru)  
<https://orcid.org/0000-0002-3375-2300>

### Keywords:

vibroacoustic lung massage  
VibroLung, ICU, cardiac surgery

Острая дыхательная недостаточность (ОДН) – одно из наиболее частых осложнений, развивающихся в послеоперационном периоде у кардиохирургических больных. Нарушение альвеолярной оксигенации после таких операций наблюдается практически у всех больных, а частота возникновения клинически значимой ОДН остается достаточно высокой, особенно при операциях на аорте, достигая 3,2–28,6% [1–5]. ОДН способствует повышению летальности среди кардиохирургических больных и значительно увеличивает экономические затраты, связанные с ее лечением.

По литературным данным, наиболее частыми причинами развития послеоперационной ОДН являются обострение хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ), ателектазы и вентилятор-ассоциированные пневмонии [3–7]. Ателектази-

рованию альвеол могут способствовать особенности выполняемого оперативного вмешательства: травма легкого при кардиохирургических операциях и на торакоабдоминальной аорте, односторонняя вентиляция, вскрытие плевральных полостей, пневмоторакс, повреждение диафрагмальных нервов с развитием пареза диафрагмы. Имеют значение и такие неблагоприятные факторы, как связанное с искусственной вентиляцией легких (ИВЛ) их повреждение, длительное вынужденное положение на операционном столе, использование гипероксической дыхательной смеси и прекращение вентиляции и перфузии легких во время искусственного кровообращения (ИК), а также нарушение каркаса грудной клетки и болевой синдром [8–13].

В отделениях интенсивной терапии долгое время уже используются различные методы про-

филактики гиповентиляции и ателектазирования альвеол: побудительная и нагрузочная спирометрия, осциллирующая PEP-терапия, вибрационный массаж с использованием вибромассажеров или специальных жилетов. При использовании данных высокочастотных массажных устройств благодаря колебаниям грудной стенки, которые передаются на легкие пациента, значительно облегчается эвакуация мокроты при кашле, что способствует улучшению дыхательной функции, снижению частоты и выраженности ателектазирования альвеол [14–19].

Относительно недавно появился принципиально новый метод виброакустического массажа легких с помощью прибора BARK VibroLUNG, основанный на воздействии на легочную ткань звукового сигнала различной частоты. По данным производителя, частота воздействующего сигнала постоянно изменяется и имеет сложную модуляцию, что обеспечивает максимальную эффективность процедуры. Лечебный эффект аппарата обусловлен тремя основными механизмами: улучшением дренажа бронхов, рекрутированием альвеол и улучшением вентиляционно-перфузионных соотношений в легких. Однако в настоящее время в литературе практически отсутствуют данные об эффективности этого метода у пациентов отделений кардиореанимации и интенсивной терапии.

**Цель** исследования – оценить эффективность виброакустического массажа легких с помощью аппарата VibroLung в послеоперационном периоде у кардиохирургических больных по его влиянию на показатели газообмена, параметры внешнего дыхания и пассаж мокроты.

## Материал и методы

Работа выполнена на основании проспективного исследования 55 пациентов (39 мужчин и 16 женщин, средний возраст –  $59 \pm 11,7$  года) после плановых кардиохирургических операций, реконструктивных вмешательств на аорте или на ее ветвях, проведенных в ФГБНУ РНЦХ им. академика Б.В. Петровского в 2019 г. Протезирование клапанов сердца выполнено 20 пациентам, реваскуляризация миокарда – 20 больным, в том числе 9 в сочетании с протезированием клапанов сердца, каротидная эндартерэктомия – 2 больным, реконструктивные операции на аорте – 13 пациентам.

**Критерии включения:** возраст старше 18 лет, самостоятельное дыхание после экстубации трахеи, возможность поддержания адекватного газообмена на фоне ингаляции кислорода, ясное сознание и продуктивный контакт с пациентом, адекватное обезболивание [оценка  $< 2$  по 10-балльной Визуально-аналоговой шкале боли (ВАШ)].

**Критерии исключения:** необходимость проведения ИВЛ, неинвазивной масочной вентиляции легких или высокопоточной оксигенотерапии, острое нарушение мозгового кровообращения, шоки различной этиологии, экстракорпоральные методы детоксикации.

Общую анестезию выполняли методом сбалансированной многокомпонентной анестезии (пропофол, мидазолам, кетамин, фентанил, севофлуран). Миоплегию поддерживали дробным введением пипекурония бромидом. Для защиты миокарда использовали кардиоплегические растворы Консол, Кустодиол или кровяную кардиоплегию.

Большинству больных операции были сделаны с ИК в условиях нормотермии или умеренной гипотермии. Пациентам при реконструктивных вмешательствах на дуге аорты операции проводили в условиях гипотермии, циркуляторного ареста и антеградной перфузии головного мозга. Послеоперационное обезболивание выполняли по принятой в отделении схеме с использованием внутривенного введения ацетаминофена в дозе 1 г 4 раза в сутки с добавлением 50–100 мг трамадола внутривенно или 20 мг тримеперидина внутримышечно.

В послеоперационном периоде виброакустический массаж легких выполняли аппаратом BARK VibroLUNG (производство ТОО «БАПК Технолоджи», Казахстан). Процедуру выполняли через 10–12 ч после экстубации трахеи. Сеансы продолжительностью 5 мин проводили в режиме профилактики со 100% мощностью подачи виброакустического сигнала. Сеанс начинался с прикладывания ложек излучателей к подлопаточной области, поднимаясь вверх по поверхности спины, далее излучатели прикладывали к боковой поверхности туловища, а затем сеанс продолжали на передней поверхности грудной клетки, снизу вверх по срединной линии.

Перед сеансом вибромассажа и через 10 мин после его окончания у каждого пациента при дыхании воздухом регистрировали следующие показатели артериальной крови: pH, насыщение крови кислородом, уровень парциального давления кислорода и углекислоты ( $\text{SatO}_2$ ,  $\text{PaO}_2$ ,  $\text{PaCO}_2$  соответственно), по общепринятым формулам рассчитывали  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$  (индекс  $p/f$ ),  $\text{CaO}_2$  – кислородную емкость крови,  $P(A-a)O_2$  – альвеолярно-артериальную разницу по кислороду,  $Q_s/Q_t$  – внутрилегочное шунтирование крови. Кроме того, измеряли частоту дыхания (ЧД) и с помощью побудительного спирометра Cough 2 производства компании Portex регистрировали максимальный инспираторный объем. Эффективность отхождения мокроты до и после сеанса оценивали в баллах: 0 – мокрота откашливается плохо; 1 – мокрота откашливается удовлетворительно; 2 – мокрота откашливается хорошо.

Статистическую обработку данных выполняли в программе Jampvi версии 1.1.9.0 для MacOS. Соответствие закону нормального распределения оценивали по критерию Шапиро–Уилка. Для каждого оцениваемого показателя рассчитывали среднее арифметическое, медиану, стандартное отклонение, минимальное и максимальное значение показателя, среднее различие, 95% доверительный интервал. Для оценки значимости статистических различий при нормальном распределении признаков использовали критерий Стьюдента для парных выборок, при ненормальном распределении – критерий Вилкоксона. Значимыми считались значения при  $p < 0,05$ .

## Результаты

Изменение показателей газообмена и параметров внешнего дыхания у кардиохирургических больных при проведении виброакустического массажа легких аппаратом VibroLUNG представлены в табл. 1 и 2. Из данных табл. 1 видно, что у подавляющего большинства пациентов (96,4%) до виброакустического массажа легких было зафиксировано плохое отхождение мокроты при кашле, что соответствовало оценке 0 баллов (в среднем составило  $0,04 \pm 0,19$  балла). После сеанса отхождение мокроты значительно улучшилось – об этом свидетельствует рост числа больных с оценкой отхождения мокроты 1 балл до 23,6% и 2 балла до 20% (среднее значение –  $0,64 \pm 0,79$  балла). Различия статистически достоверны (верхний 95% доверительный интервал – 1,5; нижний – 1,0;  $p < 0,001$ ) (см. табл. 1).

Средний показатель максимального инспираторного объема (МИО) до виброакустического массажа (табл. 2) находился на достаточно высоком уровне ( $>1000$  мл). Однако практически у половины пациентов (50,9%) МИО был в диапазоне низких значений (200–800 мл), что свидетельствует о нарушении функции внешнего дыхания, и только у 14,5% больных он превышал 1500 мл. После проведения сеанса виброакустического массажа прирост МИО по группе вырос в среднем на 44,1% (средняя разница – 500 мл, 95% доверительный интервал 400–600 мл,  $p < 0,01$ ), а число больных с МИО  $>1500$  мл выросло до 45,4%, т.е. более чем в 3 раза. Отсутствие прироста МИО после сеанса виброакустического массажа было отмечено только у 4 (7,3%) пациентов, причем все они в исходе имели низкие значения МИО в диапазоне 200–500 мл.

Исходные показатели газообмена до сеанса виброакустического массажа легких показали (см. табл. 1), что медиана показателей  $SatO_2$ ,  $PaO_2$ , индекс  $p/f$ ,  $PaCO_2$  находились в пределах нормальных значений. Лишь у 7 (12,7%) пациентов индекс  $p/f$  был  $<300$  мм рт.ст. После сеанса вибро-

Таблица 1. Изменение некоторых показателей газообмена и параметров внешнего дыхания у кардиохирургических больных в послеоперационном периоде при проведении виброакустического массажа легких аппаратом VibroLUNG

Показатель	До сеанса	Через 15 мин после сеанса	Среднее различие	Нижний 95% доверительный интервал	Верхний 95% доверительный интервал	p
pH	$7,31 \pm 0,99$	$7,32 \pm 0,$	-0,01	-0,01	0,02	0,053
Индекс $p/f$ , мм рт.ст.	$352 \pm 5,8$	$374 \pm 3,1$	21,5	14,3	28,6	$<0,001$
$PaCO_2$ , мм рт.ст.	$39,0 \pm 4,41$	$35,7 \pm 3,65$	-3,5	-4	-2,5	$<0,001$
$PaO_2$ , мм рт.ст.	$74,1 \pm 9,4$	$78,5 \pm 10,4$	5	3,5	6,5	$<0,001$
$SatO_2$ , %	$95,0 \pm 2,15$	$96,0 \pm 2,39$	1	-0,1	0,3	$<0,001$
$CaO_2$ , об. %	$13,5 \pm 3,7$	$13,6 \pm 3,6$	0,15	-0,3	0,1	0,205
$P(A-a)O_2$ , мм рт.ст.	$26,7 \pm 10,6$	$27,5 \pm 10,5$	0,5	1,5	2,5	0,532
$Qs/Qt$ , %	$13,7 \pm 7,2$	$11,0 \pm 8,2$	3,5	-5,2	-1,35	0,002
Максимальный инспираторный объем, мл	$1043,6 \pm 747,6$	$1503,6 \pm 862,6$	500	400	600	$<0,001$
Отхождение мокроты, баллы	$0,04 \pm 0,19$	$0,64 \pm 0,8$	1,5	-1,5	-1,0	$<0,001$
Число дыханий в минуту	$18,0 \pm 2,5$	$18,1 \pm 2,0$	0,1	-0,5	1,5	0,83

акустического массажа отмечается улучшение газообменной функции легких – об этом свидетельствует достоверный прирост уровня парциального давления  $O_2$  в артериальной крови (95% доверительный интервал 3,5–6,5;  $p < 0,001$ ), индекса  $p/f$  на 6,1% ( $p < 0,001$ ) с одновременным снижением  $PaCO_2$  на 9,2% (95% доверительный интервал –4,0...–2,5;  $p < 0,001$ ). И хотя  $SatO_2$  достоверно увеличилась ( $p < 0,001$ ), прирост составил минимальный процент. У 7 (12,7%) пациентов  $SatO_2$  или не увеличилась, или незначимо снизилась. У этих больных также не отмечено улучшения пассажа мокроты. Внутрилегочное шунтирование крови достоверно уменьшилось после сеанса на 19,7% ( $p = 0,002$ ).

Показатели уровня pH и  $CaO_2$  достоверно не изменялись. Альвеолярно-артериальная разница по кислороду как до, так и после сеанса была значительно повышена и достоверно не изменилась ( $p = 0,68$ ). Только у 3 (5,4%) пациентов наблюдалось снижение данного показателя в среднем на 60%, при этом у них отмечался значительный (более чем в 3 раза) прирост МИО.

ЧД до и после сеанса находилась в среднем в пределах нормальных значений и достоверно не менялась. ЧД  $> 20$ /мин регистрировалась лишь у 3 (5,4%) пациентов в исходе и у 2 (3,6%) больных после сеанса.

## Обсуждение

Частое развитие послеоперационных осложнений в системе дыхания у кардиохирургических больных общеизвестно. Увеличение риска их возникновения отмечают при удлинении ИК, больших гемотрансфузиях, длительной ИВЛ, интраоперационных травмах легких и др. Кроме того, среди кардиохирургических пациентов велик процент больных с такими дооперационными факторами риска развития послеоперационной ОДН, как ожирение, ХОБЛ, особенно при средней и тяжелой степени, бронхиальная астма, хроническая сердечная недостаточность и легочная гипертензия [3, 4, 6, 8–12].

В экспериментальных исследованиях было показано, что на начальных этапах кардиохирургических операций выявляется микроателектазирование, нарушающее вентиляционно-перфузионное

отношение в легких. Во время и после кардиохирургических вмешательств рентгенонегативное микроателектазирование может охватывать значимую часть легочной ткани (до  $\geq 50\%$ ), увеличивая внутрилегочное шунтирование крови ( $Q_s/Q_t$ ) и относительную артериальную гипоксемию [20–22].

Удовлетворительная оксигенирующая функция легких является обязательным условием ранней активизации после операций с ИК. Проблеме профилактики легочных осложнений, респираторной реабилитации и ранней активизации пациентов после кардиохирургических операций в настоящий момент придается большое значение. Для этих целей предлагаются различные методы, но они пока недостаточно хорошо изучены и освещены в литературе.

Можно выделить 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: она показала свою эффективность в профилактике и лечении ателектазирования легочной ткани после различных оперативных вмешательств прежде всего кардиохирургических и торакальных пациентов [22, 23].

Терапия положительным давлением на выдохе была разработана в конце XX в. и введена в Соединенных Штатах в качестве альтернативы обычной физиотерапии [16], а устройства PEP-терапии с вибрационным компонентом достаточно широко применяются для лечения пациентов с заболеваниями органов дыхания и для тренировки дыхания в послеоперационном периоде. Небольшие клинические исследования показали улучшение трахеобронхиального клиренса и комфорта пациентов с помощью устройств PEP по сравнению со стандартными методами физиотерапии [24, 25].

В литературе имеются 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). Данная система состоит из надувного

**Таблица 2.** Изменение максимального инспираторного объема у кардиохирургических больных (55 человек) до и после сеанса виброакустического массажа аппаратом VibroLUNG

Максимальный инспираторный объем, мл	Число больных и % общего количества до сеанса	Число больных и % общего количества после сеанса	$p$
200–500	18 (32,7)	4 (7,3)	$> 0,05$
$> 500$ –800	10 (18,2)	12 (21,8)	$> 0,05$
$> 800$ –1200	9 (16,4)	10 (18,2)	$> 0,05$
$> 1200$ –1500	10 (18,2)	4 (7,3)	$> 0,05$
$> 1500$	8 (14,5)	25 (45,4)	$< 0,01$

жилета и компрессора, генерирующего воздушные импульсы. Компрессор надувает 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 [26, 27] сообщается, что такое устройство способствует улучшению пассажа мокроты при кашле у больных с хроническим фиброзом легких, способствует стабилизации или улучшению оксигенирующей функции легких.

Количество опубликованной информации 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 своей работе мы использовали виброакустический метод массажа легких с помощью аппарата VibroLung. Это принципиально новый метод виброакустического массажа легких с помощью прибора, который посредством специальных излучателей воздействует на легочную ткань. В зависимости от выбранной программы сигнал может вызывать эффект перкуссии, мягкой вибрации, плавного чередования акустического сигнала и вибрации, их комбинаций. Применение аппарата эффективно при лечении как обструктивной, так и рестриктивной патологии легких. Важная роль отводится профилактике заболеваний дыхательной системы, что может способствовать ранней профилактике развития легочных осложнений, особенно у кардиохирургических пациентов, у больных с предрасположенностью к легочным заболеваниям или с хронической легочной патологией. При обструктивной патологии аппарат улучшает пассаж мокроты, стимулирует ее дренаж, улучшает бронхиальную проходимость.

Анализ полученных нами данных по использованию виброакустического массажа легких у кардиохирургических больных показал его хорошую эффективность и переносимость. Это подтверждается положительным влиянием сеанса как на показатели внешнего дыхания, так и на некоторые показатели газообмена.

Мы использовали спирометрию в качестве одного из методов контроля работы виброакустического массажа. Значительное достоверное увеличение максимального инспираторного объема в среднем по группе на 44,1% и возрастание более чем в 3 раза у больных с МИО >1500 мл может свидетельствовать об увеличении объема вентилируемой легочной ткани.

Учитывая, что почти половина больных, вошедших в исследование (43,6%), отмечают положительную динамику отхождения мокроты после

сеанса ( $p < 0,001$ ), можно говорить о положительном влиянии виброакустического массажа легких на ее пассаж. Эти эффекты близки к полученным при использовании виброжилетов и осцилляторной терапии с положительным давлением в конце выдоха (PEP-терапии), помогающих откашливанию мокроты и способствующих стабилизации или улучшению оксигенирующей функции легких у пациентов различного профиля (хирургического, у больных с хронической бронхоэктатической болезнью и обструктивной болезнью легких) [24–29].

Нами продемонстрировано также положительное влияние виброакустического массажа на показатели газообмена, о чем свидетельствует достоверный прирост уровня парциального давления  $O_2$  в артериальной крови и индекса  $p/f$  до 6,1% с одновременным снижением  $PaCO_2$  на 11,4% при возрастании насыщения крови кислородом ( $p < 0,001$ ). Кроме того, полученное после вибромассажа достоверное ( $p = 0,002$ ) уменьшение внутрилегочного шунтирования крови на 19,7% при увеличении МИО можно объяснить улучшением проходимости дыхательных путей и объема вентилируемых альвеол, что подтверждают данные других авторов.

Так, в работе [22] была показана высокая эффективность побудительной спирометрии как меры профилактики послеоперационного снижения оксигенирующей функции легких (ОФЛ), обусловленного нарушением вентиляционно-перфузионного отношения. Авторы показали, что побудительная спирометрия, проводимая в раннем послеоперационном периоде, оказывает положительное влияние на газообмен и функцию внешнего дыхания, поскольку в 98% случаев увеличивает МИО в среднем на  $0,5 \pm 0,04$  л и в 2 раза уменьшает частоту эпизодов снижения индекса  $p/f$  после операций с ИК, что может свидетельствовать о снижении микроателектазирования альвеол.

Таким образом, наши данные показали, что эффективность побудительной спирометрии можно существенно повысить при ее сочетании с виброакустическим массажем легких. Было доказано, что последний положительно влияет на оксигенирующую функцию легких и в дальнейшем может сокращать сроки реабилитации пациентов после кардиохирургических вмешательств. Необходимы дальнейшие сравнительные исследования эффективности виброакустического массажа легких и других методов респираторной реабилитации.

## Выводы

1. Затруднения в эвакуации мокроты при кашле в ранние сроки после экстубации трахеи наблюдаются у 96,4% кардиохирургических больных. Проведение виброакустического массажа легких аппаратом VibroLung сопровождается значитель-

ным улучшением пассажа мокроты. После сеанса показатель эффективности откашливания мокроты в среднем возрос с  $0,04 \pm 0,19$  до  $0,64 \pm 0,79$  баллов ( $p < 0,001$ ).

2. В результате проведения вибромассажа число больных с МИО <500 мл уменьшилось с 32,7 до 7,3%, а с МИО >1500 мл возросло с 14,5 до 45,1% ( $p < 0,001$ ). Полученное после вибромассажа статистически достоверное увеличение МИО в среднем на 44,1% ( $p < 0,001$ ) наряду с уменьшением на 19,7%

( $p = 0,02$ ) фракции внутрилегочного шунтирования может свидетельствовать об улучшении альвеолярной вентиляции.

3. Виброакустический массаж легких сопровождался улучшением показателей газообмена, о чем свидетельствует статистически достоверный прирост парциального давления  $O_2$  в артериальной крови и индекса  $p/f$  при одновременном снижении  $PaCO_2$  и возрастании насыщения крови кислородом.

## Литература

1. Баутин А.Е., Кашерининов И.Ю., Лалетин Д.А., Мазурок В.А., Рубинчик В.Е., Наймушин А.В., Маричев А.О., Гордеев М.А. Распространенность и структура острой дыхательной недостаточности в раннем послеоперационном периоде кардиохирургических вмешательств // Вестник интенсивной терапии. 2016. №4. С.19-26. (in Russian)
2. Faker Ali Ahmed Al-Qubati, Abdulkarim Damag, Tarek Norman. Incidence and outcome of pulmonary complications after open cardiac surgery // J. Chest Dis. Tuberc. 2013. Vol. 62, N 4. P. 775–780. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejcdt.2013.08.008>
3. Gupta H., Gupta P.K., Fang X., Miller W.J., Cemaj S., Forse R.A. et al. Development and validation of a risk calculator predicting postoperative respiratory failure // Chest. 2011. Vol. 140. P. 581–595. DOI: <https://doi.org/10.1378/chest.11-0466>
4. Ji Q., Mei Y., Wang X., Feng J., Cai J., Ding W. Risk factors for pulmonary complications cardiac surgery with cardiopulmonary bypass // Int. J. Med. Sci. 2013. Vol. 10, N 11. P. 1578–1583. DOI: <https://doi.org/10.7150/ijms.6904>
5. Esmaili R., Nasiri E., Ghafari R., Mousavinasab S.N., Saffari N.H.N. Frequency rate of atelectasis in patients following coronary artery bypass graft and its associated factors at mazandaran heart center in 2013–2014 // Med. Arch. 2015. Vol. 69, N 2. P. 72–76. DOI: <https://doi.org/10.5455/medarh.2015.69.72-76>
6. Bailey M.L., Richter S.M., Mullany D.V., Tesar P.J., Fraser J.F. Risk factors and survival in patients with respiratory failure after cardiac operations // Ann. Thorac. Surg. 2011. Vol. 92. P. 1573–1579. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2011.04.019>
7. He S., Chen B., Li W., Yan J., Chen L., Wang X., Xiao Y. Ventilator-associated pneumonia after cardiac surgery: a meta-analysis and systematic review // J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 2014. Vol. 148, N 6. P. 3148–3155. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tcvs.2014.07.107>
8. Баутин А.Е., Солнцев В.Н., Наумов А.Б.. Изменение проницаемости альвеолокапиллярной мембраны и состояния легочного сурфактанта во время операций на сердце и аорте // Вестник анестезиологии и реаниматологии. 2010. №5. С.11-17. (in Russian)
9. Naughton P.J., Park M.S., Morasch Rodriguez H.E., Garsia M.T., Wang C.E., Eskandari M.K. Emergent repair of acute thoracic aortic catastrophes // Arch. Surg. 2012. Vol. 147, N 3. P. 243–249. DOI: <https://doi.org/10.1001/archsurg.2011.1476>
10. Talwar S., Agarwala S., Mittal C.M., Choudhary S.K., Airan B. Diaphragmatic palsy after cardiac surgical procedures in patients with congenital heart // Ann. Pediatr. Cardiol. 2010. Vol. 3, N 1. P. 50–57. DOI: <https://doi.org/10.4103/0974-2069.64370>
11. Haynes D., Baumann M.H. Management of pneumothorax // Semin. Respir. Crit. Care Med. 2010. Vol. 31. P. 769–780. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0030-1269837>
12. Wynne R., Botti M. Postoperative pulmonary dysfunction in adult after cardiac surgery with cardiopulmonary bypass: clinical significance and implications for practice // Am. J. Crit. Care. 2004. Vol. 13, N 5. P. 384–393.
13. Hedenstierna G. Alveolar collapse and closure of airways: regular effects of anaesthesia // Clin. Physiol. Funct. Imaging 2003. Vol. 23, N 3. P. 123–129.
14. Warwick W.J., Hansen L.G. The long term effect of high frequency compression therapy on pulmonary complications of cystic fibrosis // Pediatr. Pulmonol. 1994. Vol. 88. P. 677–681.
15. Agostini P., Singh S. Incentive spirometry following thoracic surgery: what should we be doing? // Physiotherapy. 2009. Vol. 95, N 2. P. 76–82. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physio.2008.11.003>
16. Gaskin L., Corey M., Shin J., Reisman J.J., Thomas J., Tullis D.E. Long-term trial of conventional postural drainage and percussion versus positive expiratory pressure // J. Pediatr. Pulmonol. 1997. Vol. 131. P. 570–574.
17. Wilson L.M., Morrison L., Robinson K.A. Airway clearance techniques for cystic fibrosis: an overview of Cochrane systematic reviews // Cochrane Database Syst. Rev. 2019. Vol. 1. CD011231. DOI: <https://doi.org/10.1002/14651858.CD011231.pub2>
18. 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. 9. CD011699. DOI: <https://doi.org/10.1002/14651858.CD011699.pub2>

19. Nicolini A., Cardini F., Landucci N., Lanata S., Ferrari-Bravo M., Barlascini C. Effectiveness of treatment with high-frequency chest wall oscillation in patients with bronchiectasis // *BMC Pulm. Med.* 2013. Vol. 13. P. 21. <https://doi.org/10.1186/1471-2466-13-21>

20. Magnusson L., Spahn D.R. New concepts of atelectasis during general anaesthesia // *Br. J. Anaesth.* 2003. Vol. 91, N 1. P. 61–72.

21. Кричевский Л.А., Баландюк А.Е., Козлов И.А. Внесосудистая вода и оксигенирующая функция легких при операциях с искусственным кровообращением // *Вестник трансплантологии и искусственных органов.* 2004. №2. С. 24–28. (in Russian)

22. Козлов И.А., Дзыбинская Е.В., Романов А.А., Баландюк А.Е. Коррекция легочной оксигенирующей дисфункции при ранней активации кардиохирургических больных // *Общая реаниматология.* 2009. №2). С. 37–43. (in Russian)

23. Agostini P., Singh S. Incentive spirometry following thoracic surgery: what should we be doing? // *Physiotherapy.* 2009. Vol. 95, N 2. P. 76–82. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physio.2008.11.003>

24. Beningfield A., Jones A. Peri-operative chest physiotherapy for paediatric cardiac patients: a systematic review and meta-analysis // *Physiotherapy.* 2018. Vol. 104, N 3. P. 251–263. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physio.2017.08.011>

25. Zhang X., Wang Q., Zhang S., Tan W., Wang Z., Li J. The use of a modified, oscillating positive expiratory pressure device reduced fever and length of hospital stay in patients after thoracic and upper abdominal surgery: a randomised trial // *J. Physiother.* 2015. Vol. 61, N 1. P. 16–20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2014.11.013>

26. Li P., Lai Y., Zhou K., Su J., Che G. Can perioperative oscillating positive expiratory pressure practice enhance recovery in lung cancer patients undergoing thorascopic lobectomy? // *Zhongguo Fei Ai Za Zhi.* 2018. Vol. 21, N 12. P. 890–895. DOI: <https://doi.org/10.3779/j.issn.1009-3419.2018.12.06>

27. Nicolini A., Cardini F., Landucci N., Lanata S., Ferrari-Bravo M., Barlascini C. Effectiveness of treatment with high-frequency chest wall oscillation in patients with bronchiectasis // *BMC Pulm. Med.* 2013. Vol. 13. P. 21.

28. Alam M., Hussain S., Shehzad M.I., Mushtaq A., Rauf A., Ishaq S. Comparing the effect of incentive spirometry with Acapella on blood gases in physiotherapy after coronary artery bypass graft // *Cureus.* 2020. Vol. 12, N 2. Article ID e6851. DOI: <https://doi.org/10.7759/cureus.6851>

29. Wheatley C.M., Baker S.E., Daines C.M., Phan H., Martinez M.G., Morgan W.J. 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: <https://doi.org/10.1177/1753466618770997>

## References

1. Bautin A.E., Kasherininov I.Yu., Latetin D.A., Mazurok V.A., Rubinchik V.E., Naymushin A.V., et al. Prevalence and causes of the postoperative acute respiratory failure in cardiac surgery. *Vestnik intensivnoy terapii [Bulletin of Intensive Care].* 2016; (4): 19–26. (in Russian)

2. Faker Ali Ahmed Al-Qubati, Abdulkarim Damag, Tarek Norman. Incidence and outcome of pulmonary complications after open cardiac surgery. *J Chest Dis Tuberc.* 2013; 62 (4): 775–80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejcdt.2013.08.008>

3. Gupta H., Gupta P.K., Fang X., Miller W.J., Cemaj S., Forse R.A., et al. Development and validation of a risk calculator predicting postoperative respiratory failure. *Chest.* 2011; 140: 581–95. DOI: <https://doi.org/10.1378/chest.11-0466>

4. Ji Q., Mei Y., Wang X., Feng J., Cai J., Ding W. Risk factors for pulmonary complications cardiac surgery with cardiopulmonary bypass. *Int J Med Sci.* 2013; 10 (11): 1578–83. DOI: <https://doi.org/10.7150/ijms.6904>

5. Esmaeili R., Nasiri E., Ghafari R., Mousavinasab S.N., Saffari N.H.N. Frequency rate of atelectasis in patients following coronary artery bypass graft and its associated

factors at mazandaran heart center in 2013–2014. *Med Arch.* 2015; 69 (2): 72–6. DOI: <https://doi.org/10.5455/medarh.2015.69.72-76>

6. Bailey M.L., Richter S.M., Mullany D.V., Tesar P.J., Fraser J.F. Risk factors and survival in patients with respiratory failure after cardiac operations. *Ann Thorac Surg.* 2011; 92: 1573–79. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2011.04.019>

7. He S., Chen B., Li W., Yan J., Chen L., Wang X., Xiao Y. Ventilator-associated pneumonia after cardiac surgery: a meta-analysis and systematic review. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2014; 148 (6): 3148–55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tcv.2014.07.107>

8. Bautin A.E., Solnchev V.N., Naumov A.B., et al. Change in alveolar-capillary membrane permeability and in the pulmonary surfactant complex during operations on the heart and aorta. *Vestnik anesteziologii i reanimatologii [Bulletin of Anesthesiology and Resuscitation].* 2010; (5): 11–7. (in Russian)

9. Naughton P.J., Park M.S., Morasch Rodriguez H.E., Garsia M.T., Wang C.E., Eskandari M.K. Emergent repair of acute thoracic aortic catastrophes. *Arch Surg.* 2012; 147 (3): 243–49. DOI: <https://doi.org/10.1001/archsurg.2011.1476>

10. Talwar S., Agarwala S., Mittal C.M., Choudhary S.K., Airan B. Diaphragmatic palsy after cardiac surgical procedures in patients with congenital heart. *Ann Pediatr Cardiol.* 2010; 3 (1): 50–7. DOI: <https://doi.org/10.4103/0974-2069.64370>
11. Haynes D., Baumann M.H. Management of pneumothorax. *Semin Respir Crit Care Med.* 2010; 31: 769–80. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0030-1269837>
12. Wynne R., Botti M. Postoperative pulmonary dysfunction in adult after cardiac surgery with cardiopulmonary bypass: clinical significance and implications for practice. *Am J Crit Care* 2004; 13 (5): 384–93.
13. Hedenstierna G. Alveolar collapse and closure of airways: regular effects of anaesthesia. *Clin Physiol Funct Imaging* 2003; 23 (3): 123–9.
14. Warwick W.J., Hansen L.G. The long term effect of high frequency compression therapy on pulmonary complications of cystic fibrosis. *Pediatr Pulmonol.* 1994; 88: 677–81.
15. Agostini P., Singh S. Incentive spirometry following thoracic surgery: what should we be doing? *Physiotherapy.* 2009; 95 (2): 76–82. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physio.2008.11.003>
16. Gaskin L., Corey M., Shin J., Reisman J.J., Thomas J., Tullis D.E. Long-term trial of conventional postural drainage and percussion versus positive expiratory pressure. *J Pediatr Pulmonol.* 1997; 131: 570–4.
17. Wilson L.M., Morrison L., Robinson K.A. Airway clearance techniques for cystic fibrosis: an overview of Cochrane systematic reviews. *Cochrane Database Syst Rev.* 2019; 1: CD011231. DOI: <https://doi.org/10.1002/14651858.CD011231.pub2>
18. 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; 9: CD011699. DOI: <https://doi.org/10.1002/14651858.CD011699.pub2>
19. Nicolini A., Cardini F., Landucci N., Lanata S., Ferrari-Bravo M., Barlascini C. Effectiveness of treatment with high-frequency chest wall oscillation in patients with bronchiectasis. *BMC Pulm Med.* 2013; 13: 21. <https://doi.org/10.1186/1471-2466-13-21>
20. Magnusson L., Spahn D.R. New concepts of atelectasis during general anaesthesia. *Br J Anaesth.* 2003; 91 (1): 61–72.
21. Krichevskiy L.A., Balandyuk A.Ye., Kozlov I.A. Non-vascular water and oxygenating function of lungs in operations with artificial circulation *Vestnik transplantologii i iskusstvennykh organov [Bulletin of Transplantation and Artificial Organs].* 2004; (2): 24–8. (in Russian)
22. Kozlov I.A., Dzybinskaya Ye.V., Romanov A.A., Balandyuk A.Ye. Correction of pulmonary oxygenizing dysfunction in the early activation of cardio-surgical patients. *Obshchaya reanimatologiya [General Resuscitation].* 2009; (2): 37–43. (in Russian)
23. Agostini P., Singh S. Incentive spirometry following thoracic surgery: what should we be doing? *Physiotherapy.* 2009; 95 (2): 76–82. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physio.2008.11.003>
24. Beningfield A., Jones A. Peri-operative chest physiotherapy for paediatric cardiac patients: a systematic review and meta-analysis. *Physiotherapy.* 2018; 104 (3): 251–63. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physio.2017.08.011>
25. Zhang X., Wang Q., Zhang S., Tan W., Wang Z., Li J. The use of a modified, oscillating positive expiratory pressure device reduced fever and length of hospital stay in patients after thoracic and upper abdominal surgery: a randomised trial. *J Physiother.* 2015; 61 (1): 16–20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2014.11.013>
26. Li P., Lai Y., Zhou K., Su J., Che G. Can perioperative oscillating positive expiratory pressure practice enhance recovery in lung cancer patients undergoing thorascopic lobectomy? *Zhongguo Fei Ai Za Zhi.* 2018; 21 (12): 890–5. DOI: <https://doi.org/10.3779/j.issn.1009-3419.2018.12.06>
27. Nicolini A., Cardini F., Landucci N., Lanata S., Ferrari-Bravo M., Barlascini C. Effectiveness of treatment with high-frequency chest wall oscillation in patients with bronchiectasis. *BMC Pulm Med.* 2013; 13: 21.
28. Alam M., Hussain S., Shehzad M.I., Mushtaq A., Rauf A., Ishaq S. Comparing the effect of incentive spirometry with Acapella on blood gases in physiotherapy after coronary artery bypass graft. *Cureus.* 2020; 12 (2): e6851. DOI: <https://doi.org/10.7759/cureus.6851>
29. Wheatley C.M., Baker S.E., Daines C.M., Phan H., Martinez M.G., Morgan W.J., et al. Influence of the Vibrating Acoustical Percussor on pulmonary function and sputum expectoration in individuals with cystic fibrosis. *Ther Adv Respir Dis.* 2018; 12: 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1177/1753466618770997>