

Сравнительная оценка результатов измерения емкости вдоха с помощью побудительного спирометра и метода ультразвуковой спирографии в раннем послеоперационном периоде у кардиохирургических пациентов

А. А. Еременко, Т. П. Зюляева, Д. В. Рябова*, М. С. Грекова, А. П. Алферова, А. В. Гончарова, О. О. Гринь, С. С. Дмитриева, А. С. Петров

Российский научный центр хирургии им. акад. Б. В. Петровского, Россия, 119435, Москва, Абрикосовский пер., д. 2

Для цитирования: А. А. Еременко, Т. П. Зюляева, Д. В. Рябова, М. С. Грекова, А. П. Алферова, А. В. Гончарова, О. О. Гринь, С. С. Дмитриева, А. С. Петров. Сравнительная оценка результатов измерения емкости вдоха с помощью побудительного спирометра и метода ультразвуковой спирографии в раннем послеоперационном периоде у кардиохирургических пациентов. *Общая реаниматология*. 2023; 19 (1): 13–19. <https://doi.org/10.15360/1813-9779-2023-1-13-19> [На русск. и англ.]

*Адрес для корреспонденции: Дарья Викторовна Рябова, riabova.daria@yandex.ru

Резюме

Побудительная спирометрия относится к наиболее распространенным методам, применяемым для респираторной физиотерапии в ранние сроки после кардиохирургических вмешательств. Процедура основана на самостоятельном измерении объема вдоха пациентом, однако остается неясным, насколько можно доверять результатам этих измерений.

Цель исследования. Сравнить волюметрические показатели, измеренные с помощью побудительного спирометра, с данными прикроватной ультразвуковой спирометрии и оценить возможность использования побудительной спирометрии для оценки емкости вдоха и эффективности послеоперационной респираторной реабилитации.

Материал и методы. В исследование включили 50 пациентов после плановых кардиохирургических операций. Реабилитацию проводили с использованием различных респираторных методов. До и после каждого сеанса выполняли спирографию с использованием прикроватного ультразвукового спирометра. Оценивали максимальную емкость вдоха (СМЕВд), одновременно определяли показатель максимальной емкости вдоха (МЕВд) с помощью побудительного спирометра. Регистрировали нежелательные явления и дискомфорт при проведении процедур.

Результаты. Абсолютные величины максимальной емкости вдоха, измеренные до и после каждого сеанса с помощью сравниваемых методов, отличались, однако средние значения их прироста (Δ) не имели значимых различий. По результатам корреляционного анализа выявили сильную положительную значимую взаимосвязь между Δ СМЕВд и Δ МЕВд (до сеанса $r = 0,74$, после сеанса $r = 0,79$, по всему массиву данных $r = 0,77$, $p < 0,01$), которая имела хорошую согласованность по анализу Блэнда–Альтмана, о чем свидетельствует то, что более 95% значений находились в пределах $\pm 1,96$ SD от средней разницы. Метод побудительной спирометрии показал хорошую диагностическую точность при ROC-анализе (чувствительность 87%, специфичность 85%, площадь под кривой (AUC) 0,8 (95% ДИ: [0,76; 0,83]), $p < 0,001$). Отказ от процедуры чаще наблюдали при использовании метода ультразвуковой спирографии.

Закключение. Прирост показателя емкости вдоха, измеренной с помощью побудительного спирометра, хорошо согласуется с измеренным методом ультразвуковой спирографии и может использоваться для оценки эффективности реабилитационных мероприятий в раннем послеоперационном периоде у кардиохирургических пациентов.

Ключевые слова: респираторная реабилитация; побудительная спирометрия; спирография; емкость вдоха; дренажная функция легких

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Comparing the Inspiratory Capacity Measurements Obtained by Incentive Spirometry and Ultrasonic Spirography in the Early Postoperative Period in Cardiac Surgery Patients

Alexander A. Eremenko, Tatiana P. Zyulyaeva, Daria V. Ryabova*, Marina S. Grekova, Alina P. Alferova, Alevtina V. Goncharova, Oksana O. Grin, Sofia S. Dmitrieva, Alexander S. Petrov

B. V. Petrovsky Russian Research Center for Surgery, 2 Abrikosov Lane, 119435 Moscow, Russia

Summary

Incentive spirometry is one of the most common methods used for respiratory rehabilitation in the early period after cardiac surgery. Inspiratory capacity values, obtained by a patient using spirometer, are not reliably trusted.

Objectives. To compare volumetric parameters measured with incentive spirometer and results obtained with bedside ultrasound-based spirometer to assure the feasibility of the use of incentive spirometry to assess the inspiratory capacity and effectiveness of postoperative respiratory rehabilitation.

Materials and methods. The study included 50 patients after elective cardiac surgery. Pulmonary rehabilitation involved the use of various respiratory therapy methods. Spirography was performed before and after each session. Both approaches were used simultaneously to obtain the spirometry maximum inspiratory capacity (SMIC) with a bedside ultrasonic spirometry and maximum inspiratory capacity (MIC) index using an incentive spirometer. Patient's discomfort and adverse events during the procedures were recorded.

Results. The absolute values of the MIC measured before and after each session by the two methods were dissimilar, however, the average increment values (Δ) did not show statistically significant differences. The correlation analysis revealed a strong positive statistically significant relationship between Δ SMIC and Δ MIC ($R = 0.74$ before the session, $R = 0.79$ after the session, $R = 0.77$ across the whole data set, $P < 0.01$), also consistent with the Bland–Altman analysis, evidencing that more than 95% of all values fell within ± 1.96 SD of the mean difference. The inspiratory spirometry method showed good diagnostic accuracy (sensitivity 87%, specificity 85%, area under the curve (AUC) 0.8 (95% CI: [0.76; 0.83]), $P < 0.001$). Refusals of procedure were more often documented with ultrasonic spirometry.

Conclusion. The increment in the inspiratory capacity index measured with incentive spirometer shows good agreement with ultrasonic spirometry measurements. Therefore, incentive spirometry can be reliably used to assess the effectiveness of respiratory rehabilitation interventions in cardiac surgery patients during early postoperative period.

Keywords: *respiratory rehabilitation; incentive spirometry; spirometry; inspiratory capacity; lung drainage function*

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Read the full-text English version at www.reanimatology.com

Введение

Кардиохирургические вмешательства связаны с высоким риском развития респираторных осложнений в ближайшем послеоперационном периоде, частота развития которых обусловлена необходимостью проведения искусственного кровообращения и циркуляторного ареста, механической травмой легкого, относительно большим объемом кровопотери и гемотрансфузии, продленной искусственной вентиляции легких (ИВЛ) с применением «жестких» режимов, нарушением целостности каркаса грудной клетки, медикаментозным угнетением дыхательного центра, слабостью дыхательной мускулатуры и другими факторами [1–4].

Все вышеперечисленное может приводить к нарушению дренажной функции трахеобронхиального дерева, образованию ателектазов, уменьшению числа вентилируемых альвеол, снижению жизненной емкости легких и развитию дыхательной недостаточности.

В целях профилактики и лечения респираторных осложнений в послеоперационном периоде применяются различные методы немедикаментозной респираторной физиотерапии. К их числу относятся виброакустический массаж легких, вибрационная терапия с использованием положительного давления на выдохе (PEP-терапия), наружный массаж грудной клетки с использованием высокочастотных компрессионных устройств (жилетов) [5–10]. К наиболее распространенным физиотерапевтическим методам, применяемым в послеоперационном периоде, относится побудительная спирометрия [11], которая основана на измерении динамики объема вдоха с помощью специального устройства, снабженного поршнем и имеющего градуировку

в мл. Таким образом, пациент может самостоятельно контролировать объем вдоха в процессе послеоперационной реабилитации и стремиться к достижению определенных целевых его значений, хотя, строго говоря, побудительный спирометр не является измерительным прибором. При этом основные эффекты побудительной спирометрии направлены на тренировку дыхательной мускулатуры, улучшение пассажа мокроты и вентиляционных показателей.

Цель работы — сравнить волуметрические показатели, измеренные с помощью побудительного спирометра, с данными прикроватной ультразвуковой спирометрии и оценить возможность использования побудительной спирометрии для оценки емкости вдоха и эффективности послеоперационной респираторной физиотерапии.

Материал и методы

Работу выполнили в рамках проводимого в ФГБНУ РНЦХ им. академика Б. В. Петровского проспективного рандомизированного исследования «Оценка клинико-экономической эффективности различных вибрационных методов аппаратного воздействия на легкие по их влиянию на показатели газообмена, параметры внешнего дыхания и пассаж мокроты у кардиохирургических больных в ранние сроки послеоперационного периода для профилактики и лечения послеоперационных респираторных осложнений». Номер протокола регистрации исследования на ClinicalTrials.gov — NCT05159401. Протокол заседания локального этического комитета №12 от 28.10.2021.

Критерии включения: возраст 18–80 лет, самостоятельное дыхание после экстубации трахеи, возможность поддержания адекватного газообмена на

фоне ингаляции кислорода, ясное сознание и продуктивный контакт с пациентом, адекватное обезболивание (≤ 3 см) по 10-балльной визуально-аналоговой шкале боли (ВАШ). Критерии исключения: необходимость проведения ИВЛ, неинвазивной масочной вентиляции легких или высокопоточной оксигенотерапии, острое нарушение мозгового кровообращения, шок различной этиологии, продолжающееся кровотечение, применение экстракорпоральных методов гемокоррекции, любые нервно-мышечные заболевания, пневмоторакс, гидро- или гемоторакс.

В анализируемую группу включили 50 пациентов, которым были выполнены плановые операции: протезирование клапанов сердца (митральный, аортальный) — 15 больных; пластические операции на клапанах сердца — 7 больных; септальная миоэктомия — 10 больных; протезирование аортального клапана в сочетании с септальной миоэктомией — 2 больных; реваскуляризация миокарда — 14 больных, в том числе 4 — в сочетании с протезированием клапанов сердца; протезирование восходящего отдела аорты + протезирование аортального клапана — 2 больных. Операции были выполнены с применением ИК в условиях нормотермии или умеренной гипотермии у 48 пациентов. Послеоперационное обезболивание при ВАШ более 3 баллов проводили препаратами, не влияющими на функцию дыхания (ацетаминофен в дозе 1 грамм в/в, 50–100 мг трамадола в/в или 100 мг кетопрофена в/м, тапентадол 50 мг *per os*).

Во время хирургического вмешательства проводили сбалансированную многокомпонентную анестезию (в/в пропофол, мидазолам, кетамин, фентанил, ингаляционная анестезия севофлураном). Поддержание миоплегии осуществляли дробным введением пипекурония бромидом. С целью защиты миокарда использовали кардиоплегию по методике del Nido, кровяную кардиоплегию или раствор «Кустодиол».

Спирометрию выполняли с использованием портативного ультразвукового спирометра Spiro Scout (Schiller, Швейцария), согласно инструкции по эксплуатации устройства и рекомендациям Российского респираторного Общества по проведению спирометрии [12, 13]. Перед исследованием проводили инструктаж пациента: врач-исследователь объяснял и демонстрировал правильный захват мундштука и собственно дыхательный маневр (как минимум, четыре цикла «вдох–выдох» спокойного дыхания с последующим максимально глубоким вдохом и максимально глубоким выдохом, выполняемыми строго по команде проводящего спирометрическое исследование врача-исследователя; дыхательный маневр завершается после возврата обследуемого к спокойному дыханию). Измерение выполняли трижды, критерием правильного выполнения исследования являлась величина жизненной емкости легких (ЖЕЛ) в пределах 150 мл от максимальной, полученной в рамках данной тестовой сессии. При этом измеряли

ряд показателей, однако для целей данной работы использовали максимальную емкость вдоха (СМЕВд) — сумма дыхательного объема в мл (V_T) и резервного объема вдоха в мл (IRV).

Исследования проводили через 10–12 часов после экстубации трахеи 3 раза в сутки в течение последующих 72 часов до и после использования различных вибрационных воздействий на легкие: виброакустического массажа легких с помощью прибора «BARK VibroLUNG»; осциллирующей PEP-терапии с помощью Acapella Duet Green; аппаратной стимуляции кашля инсуффлятор-аспиратором механическим Comfort Cough Plus (Комфортный кашель Плюс) и классического мануального массажа грудной клетки с перкуссией и вербальной стимуляцией кашля на фоне компрессий грудной клетки. Подробное описание каждого метода представлено в наших предыдущих работах [14–17].

На этих же этапах исследования проводили сеанс побудительной спирометрии (спирометр Coach-2 фирмы SmithsMedical, США). Методика проведения процедуры: после инструктажа и под контролем врача-реаниматолога пациент выполняет несколько вдохов через загубник спирометра, выдох производится в атмосферу. При этом фиксируется величина дыхательного объема. Затем пациент берет в рот загубник и медленно делает максимально глубокий вдох. Фиксируется показатель максимальной емкости вдоха (МЕВд) — сумма дыхательного объема и резервного объема вдоха. Измерение проводили трижды, после чего вычисляли среднее значение данного показателя. В данной работе было проанализировано 812 результатов измерения МЕВд и СМЕВд (V_T+IRV) (по 406 соответственно). Также регистрировали любые нежелательные явления и дискомфорт при проведении данных процедур. Исследования выполняли 6 врачей, прошедших специальную подготовку.

Статистический анализ выполнили с помощью программы Statistica 10.0 (разработчик — StatSoft.Inc). Полученные в ходе исследования результаты оценили согласно закону нормального распределения в соответствии с критерием Шапиро–Уилка. Использовали методы параметрического и непараметрического анализа. В случае описания количественных показателей, имеющих нормальное распределение, проводили 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 и 90 перцентилей. Частоту явления в группе определяли по точному критерию Фишера. Статистически значимыми считали показатели при $p < 0,05$. Для оценки наличия корреляционной связи между одноименными параметрами с двух разных приборов рассчитывали коэффициент корреляции Пирсона (r). Для определения наличия смещения и выбросов, степени согласия между всеми результатами, а также между результатами у одного пациента, использовали метод

Блэнда–Альтмана (Bland–Altman) [18, 19]. Чувствительность и специфичность методов определяли с помощью ROC-анализа [20, 21].

Результаты и обсуждение

Исследование вентиляционной функции легких на основе спирометрии играет существенную роль в диагностике и лечении респираторных заболеваний и применяется для оценки эффективности различных методов терапии и результатов клинических исследований [22–24].

Спирометрия/спирография — это достаточно сложное исследование, которое включает в себя подготовку участников, приемлемость и воспроизводимость маневров (правильное выполнение команд пациентами), обучение специалистов, калибровку оборудования, а также обработку результатов. Выполнение спирометрических исследований в раннем периоде после кардиохирургических операций затруднительно для самих пациентов в связи со сложностью их обучения, тяжестью состояния, общей слабостью, остаточным действием общей анестезии и болевым синдромом. В этой связи приходится ограничиваться спирометрией покоя, т. е. измерением волюметрических показателей, поскольку большинство этих пациентов выполнить нагрузочные пробы не в состоянии. По литературным данным, в большинстве научных исследований для оценки эффективности методов немедикаментозной респираторной физиотерапии используются портативные или стационарные спирографы с измерением форсированной жизненной емкости легких (ФЖЕЛ), объема форсированного выдоха в 1 сек (ОФВ₁), отношения ОФВ₁/ФЖЕЛ, общей емкости легких (ОЕЛ), пикового потока выдоха, среднего потока форсированного выдоха в течение средней по-

ловины ФЖЕЛ и других показателей [25, 26]. Однако, эти исследования проводили у пациентов терапевтического профиля, состояние которых по сравнению с кардиохирургическими больными было значительно легче, и у них отсутствовали болевой синдром и астенизация.

Основываясь на результатах ранее проведенных исследований [14–17], мы предположили, что для оценки эффективности методов респираторной физиотерапии у кардиохирургических больных в ближайшем послеоперационном периоде можно использовать измерение динамики МЕВд с помощью побудительного спирометра, которые мы сравнили с данными, полученными с помощью переносного ультразвукового спирографа. Значения исследуемых показателей до и после проведения сеансов физиотерапии представили в табл. 1.

Как видно из представленных данных, в большинстве случаев средние значения абсолютных величин МЕВд и СМЕВд различаются между собой. Разницу в абсолютных значениях волюметрических показателей при использовании сравниваемых методов можно объяснить неодинаковыми условиями проведения измерений и особенностями приборов. В отличие от ультразвукового спирографа, побудительный спирометр обладает значительным сопротивлением и инертностью. Кроме того, при его применении возможны утечки через носовые пути, поскольку во время измерения зажим на нос не накладывают. Однако, согласно полученным данным, показатели динамики МЕВд, измеренные с помощью побудительного спирометра, можно использовать при проведении респираторной реабилитации больных. Средние значения изменения данных показателей до и после

Таблица 1. Результаты измерения емкости вдоха до и после сеансов респираторной физиотерапии (медиана, 10 и 90 перцентили или $M \pm SD$).

№	Показатели (мл)	До сеанса	<i>p</i>	После сеанса	<i>p</i>	Средний прирост Δ	<i>p</i>
1	МЕВ	1000 [500–2500]	0,01	1250 [600–3000]	0,04	200 [0–750]	0,38
	СМЕВ	1555±616		1735±666		180±270	
2	МЕВ	1200 [500–2750]	0,53	1694±893	0,88	203±280	0,35
	СМЕВ	1473±593		1587±591		95 [–225–510]	
3	МЕВ	1400 [750–3000]	1,00	1500 [750–3100]	0,46	125 [–100–300]	0,06
	СМЕВ	1519±578		1594±578		90 [–260–440]	
4	МЕВ	1500 [600–3100]	0,92	1843±878	0,004	100 [–250–300]	1,00
	СМЕВ	1510±605		1598±655		105 [–215–350]	
5	МЕВ	1880±937	0,02	1922±853	0,03	10 [–200–350]	0,65
	СМЕВ	1640±617		1727±599		87±330	
6	МЕВ	1906±920	<0,001	2025±971	<0,001	50 [–100–500]	0,17
	СМЕВ	1588±499		1670±635		82±291	
7	МЕВ	2160±976	<0,001	2261±1042	<0,001	25 [–250–300]	0,77
	СМЕВ	1845±641		1855±675		10 [–250–300]	
8	МЕВ	2255±965	<0,001	2500 [1000–4000]	<0,001	50 [–100–400]	0,17
	СМЕВ	1893±653		1878±648		5 [–380–390]	
9	МЕВ	2321±961	<0,001	2443±1004	<0,001	50 [–100–500]	0,88
	СМЕВ	1970±628		2036±674		85 [–185–330]	

Примечание. Для табл. 1, 2 и рис. 1, 2: МЕВ — максимальная емкость вдоха; СМЕВ — спирометрическая максимальная емкость вдоха.

реабилитационных процедур (Ср. Δ) не имели статистически значимых различий. Погрешность измерения максимальной емкости вдоха с помощью побудительного спирометра по сравнению с данными «золотого стандарта» — спирографии до и после выполненных сеансов составила 5,35 и 9,24%, соответственно. Что касается общей динамики измеряемых объемов вдоха, то при первых 4 сеансах отмечали существенный их прирост, а к 5-му сеансу прирост данного показателя составлял менее 100 мл при измерении обоими методами (рис. 1). Это было связано с тем, что к этому времени происходило восстановление респираторной функции легких и достижение максимально возможных для данного пациента показателей. В зависимости от направленности изменения оцениваемых показателей, выделили две группы: со снижением ($\Delta < 0$) и с увеличением или отсутствием изменений ($\Delta \geq 0$) респираторных объемов.

Статистически значимых различий при сравнении двух методов не выявили (табл. 2).

Для оценки взаимосвязи между измеряемыми показателями мы провели корреляционный анализ с расчетом коэффициента корреляции Пирсона, по результатам которого выявили сильную положительную статистически значимую корреляционную зависимость (до сеанса $r = 0,74$, после сеанса $r = 0,79$, r по всей выборке $r = 0,77$, $p < 0,001$).

Учитывая то, что коэффициент корреляции Пирсона позволяет оценить только линейную зависимость между полученными результатами, степень согласованности двух методов измерения оценили методом Блэнда–Альтмана (рис. 2). При этом выявили среднюю разницу пар применяемых методов, составившую 216,9 мл (границы согласия: -1021,3; 1455) с количеством выбросов 4,06% (33/812). Таким образом, более 95% значений находились в пределах $\pm 1,96$ SD от средней разницы, что свидетельствует о хорошей согласованности двух методов.

Для оценки диагностической эффективности метода побудительной спирометрии в измерении емкости вдоха оценили его диагностическую чувствительность и специфичность относительно метода спирографии (эталонный стандарт). ROC-кривая представляет собой график зависимости частоты истинно положительных результатов (чувствительности) от частоты ложноположительных результатов (100 — специфичность). Площадь под ROC-кривой (AUC) составила

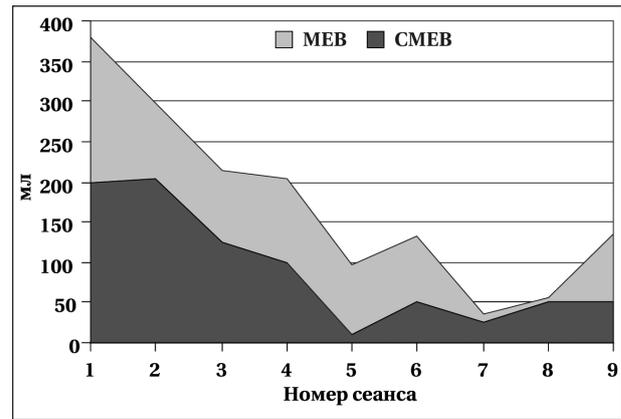


Рис. 1. Динамика прироста средних значений емкости вдоха (Δ MEBд и Δ CMEBд) в мл до и после сеансов респираторной реабилитации.

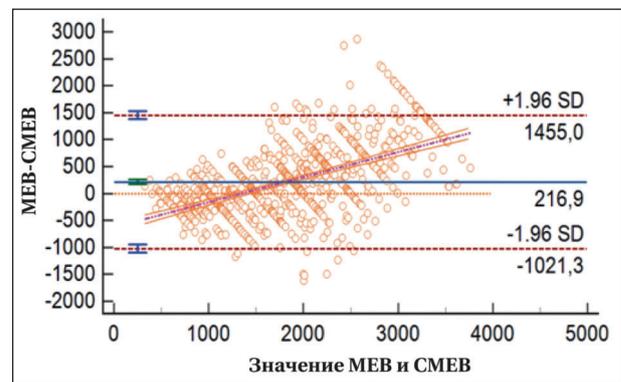


Рис. 2. Сравнение показателей максимальной емкости вдоха и спирометрической максимальной емкости вдоха методом Блэнда–Альтмана.

Примечание. SD — стандартное отклонение; ось Y — разница значений в одном тесте; mean — среднее значение (непрерывная средняя линия); верхняя и нижняя границы согласия (верхняя и нижняя прерывистые линии соответственно).

0,8 (95% ДИ: [0,76;0,83]), чувствительность — 87%, а специфичность — 85%, $p < 0,001$.

Таким образом, метод побудительной спирометрии показал хорошую диагностическую точность относительно эталонного метода, что, по нашему мнению, позволяет использовать его в оценке динамики максимальной емкости вдоха в послеоперационном периоде у кардиохирургических пациентов, находящихся в отделении реанимации и интенсивной терапии.

Провели сравнительный анализ побочных эффектов, переносимости и комфортности использования побудительного спирометра и прикроватного спирографа при проведении

Таблица 2. Результаты измерения Δ MEBд, Δ CMEBд в зависимости от направленности их изменения после сеансов респираторной физиотерапии ($n=406$ для каждого метода).

Направленность изменений	Количество измерений	Δ MEB (мл)	Δ CMEB (мл)	p
$\Delta \geq 0$	341/256	200 [0–500]	175 [25–510]	0,32
$\Delta < 0$	65/150	-200 [-500–100]	-117[-480–20]	0,23

Таблица 3. Побочные эффекты при проведении спирометрии у кардиохирургических пациентов.

Побочные эффекты	Побудительный спирометр	Прикроватный ультразвуковой спирометр	p
Тошнота	0	3	0,08
Головокружение	0	3	0,08
Слабость	0	8	<0,001
Сердцебиение	0	4	0,05
Всего	0	18	<0,001

функциональных проб у кардиохирургических больных. Результаты этого анализа представили в табл. 3.

Как видно из представленных данных, при проведении функциональных проб на прикроватном спирографе (в основном, в первые двое суток послеоперационного периода) возникали различного рода жалобы (суммарно 18 событий у 8 пациентов, что составило 16%), которые привели к невозможности дальнейшего выполнения спирометрии, в то время как использование побудительного спирометра у этих же пациентов подобных ощущений не вызывало [27, 28].

Подавляющее большинство кардиохирургических больных (44 из 50 пациентов, 88%), хотя и выполняли все пробы, отмечали дискомфорт и затруднения при проведении спирометрии из-за использования загубника, носового зажима, неполного понимания самого теста, что требовало повторных инструкций врача-исследователя и удлиняло процесс из-

мерения. Таким образом, можно заключить, что использование побудительного спирометра больными воспринималось как более простая и легкая в исполнении процедура.

Заключение

Сравнительная оценка результатов измерения динамики емкости вдоха с помощью побудительного спирометра показала хорошую согласованность с методом ультразвуковой спирометрии.

С помощью побудительного спирометра можно оценивать прирост показателя емкости вдоха в процессе проведения реабилитационных мероприятий в раннем послеоперационном периоде у кардиохирургических пациентов.

В сравнении с классической спирометрией большинство послеоперационных кардиохирургических пациентов оценивают побудительную спирометрию как более комфортную процедуру.

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.Л. Распространенность и структура острой дыхательной недостаточности в раннем послеоперационном периоде кардиохирургических вмешательств. *Вестник интенсивной терапии*. 2016; 4: 19–26. [Bautin A.E., Kasherininov I.Yu., Latetin D.A., Mazurok V.A., Rubinchik V.E., Naymushin A.V., Marichev A.O., Gordeev M.L. Prevalence and causes of the postoperative acute respiratory failure in cardiac surgery. *Ann Crit Care / Vestnik Intensivnoy Terapii*. 2016; 4: 19–26. (In Russ.).]
2. Faker A.A., Damag A., Norman T. Incidence and outcome of pulmonary complications after open cardiac surgery. *Egypt J Chest Dis Tuberc* 2013; 62 (4): 775–780. DOI: 10.1016/j.ejcdt.2013.08.008.
3. Mathis M.R., Duggal N. M., Likosky D.S., Haft J. W., Dowille N.J., Vaughn M.T., Maile M.D., Blank R.S., Colquhoun D.A., Strobel R.J., Janda A.M., Zhang M., Kheterpal S., Engoren M.S. Intraoperative mechanical ventilation and postoperative pulmonary complications after cardiac surgery. *Anesthesiology*. 2019; 131 (3): 1046–1062. DOI: 10.1097/ALN.0000000000002909. PMID: 31403976.
4. Saffari N.H.N., Nasiri E, Mousavinasab S.N., Ghafari R., Soleimani A., Esmaili R. 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; 7 (7 Spec No): 97–105. DOI: 10.5539/gjhs.v7n7p97. PMID: 26153209.
5. Салухов В.В., Харитонов М.А., Макаревич А.М., Богомолов А.Б., Казанцев В.А., Иванов В.В., Чугунов А.А., Морозов М.А. Опыт применения аппарата Bark Vibrolung в комплексном лечении внебольничной пневмонии. *Вестник Российской Военно-медицинской академии*. 2021; 23 (1): 51–58. DOI: 10.17816/brmma63576. [Salukhov V.V., Kharitonov M.A., Makarevich A.M., Bogomolov A.B., Kazantsev

- V.A., Ivanov V.V., Chugunov A.A., Morozov M.A. Experience of using the «Bark Vibrolung» device in comprehensive treatment of community-acquired pneumonia. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy/ Vestnik Rossiyskoy Voenno-Meditsinskoy Akademii*. 2021; 23 (1): 51–58. (in Russ.). DOI: 10.17816/brmma63576].
6. Tse J., Wada K., Wang Y., Coppola D., Kushnarev V., Suggett J. 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; 15: 2527–2538. DOI: 10.2147/COPD.S256866. PMID: 33116469.
7. 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. DOI: 10.1186/1471-2466-13-21. PMID: 23556995.
8. 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 (9): CD011699. DOI: 10.1002/14651858.CD011699.pub2. PMID: 28952156.
9. Cho Y. J., Ryu H., Lee J., Park I.K., Kim Y.T., Lee Y.H., Lee H, Hong D.M., Seo J.H., Bahk J.H., Y Jeon. A randomised controlled trial comparing incentive spirometry with the Acapella® device for physiotherapy after thoracoscopic lung resection surgery. *Anaesthesia*. 2014; 69 (8): 891–898. DOI: 10.1111/anae.12750. PMID: 24845198.
10. Wheatley C.M., Baker S.E., Daines C.M., Phan H., Martinez M.G., Morgan W.J., Snyder E.M. Influence of the Vibralung Acoustical Percussor on pulmonary function and sputum expectoration in individuals with cystic fibrosis. *Thorax*. 2018; 73 (12): 1753–1759. DOI: 10.1136/thorax-2017-026666. PMID: 29697011.
11. Козлов И.А., Дзыбинская Е.В., Романов А.А., Баландюк А.Е. Коррекция нарушения оксигенирующей функции

- легких при ранней активизации кардиохирургических больных. *Общая реаниматология*. 2009; 2: 37–43. DOI: 10.15360/1813-9779-2009-2-37. [Kozlov I.A., Dzybinskaya Y.V., Romanov A.A., Balandyuk A.Y. Correction of pulmonary oxygenizing dysfunction in the early activation of cardio-surgical patients. *General Reanimatology / Obshchaya Reanimatologiya*. 2009; 2: 37–43. (In Russ.). DOI: 10.15360/1813-9779-2009-2-37].
12. Moore V.C. Spirometry: step by step. *Breathe*. 2012; 8 (3): 232–240. DOI: 10.1183/20734735.0021711.
 13. Graham B.L, Steenbruggen I., Miller M.R., Barjaktarevic I.Z., Cooper B.G., Hall G.L., Hallstrand T.S., Kaminsky D.A., McCarthy K., McCormack M.C., Oropez C.E., Rosenfeld M., Stanovec S., Swanney M.P., Thompson B.R. Standardization of spirometry 2019 update. An official American Thoracic Society and European Respiratory Society technical statement. *Am J Respir Crit Care Med*. 2019; 200 (8): e70–e88. DOI: 10.1164/rccm.201908-1590ST. PMID: 31613151.
 14. Еременко А.А., Зюляева 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; 8 (4): 126–134. DOI: 10.33029/2308-1198-2020-8-4-126-134. [Eremenko A.A., Zyulyaeva T.P., Kalinina A.A., Rozina N.A. Evaluation of vibroacoustic lung massage effectiveness in self-breathing patients after cardio-surgical operations. *Clinical and Experimental Surgery. Petrovsky Journal/ Klinicheskaya i Eksperimentalnaya Khirurgiya. Zhurnal im. Akademika B.V. Petrovskogo*. 2020; 8 (4): 126–134. (In Russ.). DOI: 10.33029/2308-1198-2020-8-4-126-134].
 15. Еременко А.А., Рябова Д.В., Комнов Р.Д., Червинская А.В. Оценка эффективности и безопасности аппаратной стимуляции кашля при ранней послеоперационной респираторной реабилитации у кардиохирургических пациентов. *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. 2021; 98 (6–2): 17–24. [Eremenko A.A., Ryabova D.V., Komnov R.D., Chervinskaya A.V. Effectiveness and safety evaluation of a cough stimulation device in early postoperative respiratory rehabilitation in cardiac surgery patients. *Problems of Balneology, Physiotherapy and Exercise Therapy/ Voprosy Kurortologii, Fizioterapii, i Lechebnoi Fizicheskoi Kultury*. 2021; 98 (6–2): 17–24. (In Russ.). DOI: 10.17116/kurort20219806217].
 16. Еременко А.А., Зюляева Т.П., Алферова А.П. Оценка эффективности осциллирующей РЕР-терапии в раннем периоде после кардиохирургических операций. *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия*. 2021; 14 (6): 477–482. DOI: 10.17116/kardio202114061477. [Eremenko A.A., Zyulyaeva T.P., Alferova A.P. Effectiveness of oscillating PEP-therapy in early period after cardiac surgery. *Cardiology and Cardiovascular Surgery/ Kardiologiya i Serdechno-Sosudistaya Khirurgiya*. 2021; 14 (6): 477–482. (In Russ.)]. DOI: 10.17116/kardio202114061477.
 17. 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; 18 (6): 80–89. DOI: 10.21292/2078-5658-2021-18-6-80-89. [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/ Vestnik Anesthesiologii i Reanimatologii*. 2021; 18 (6): 80–89. (In Russ.). DOI: 10.21292/2078-5658-2021-18-6-80-89].
 18. Giavarina D. Understanding bland altman analysis. *Biochem Med (Zagreb)*. 2015; 25 (2): 141–151. DOI: 10.11613/BM.2015.015. PMID: 26110027.
 19. Myles P.S., Cui J.I. Using the Bland–Altman method to measure agreement with repeated measures. *Br J Anaesth*. 2007; 99 (3): 309–311. DOI: 10.1093/bja/aem214. PMID: 17702826.
 20. Linden A. Measuring diagnostic and predictive accuracy in disease management: an introduction to receiver operating characteristic (ROC) analysis. *J Eval Clin Pract*. 2006; 12 (2): 132–139. DOI: 10.1111/j.1365-2753.2005.00598.x. PMID: 16579821.
 21. Metz C. E. Basic principles of ROC analysis. *Semin Nucl Med*. 1978; 8 (4): 283–298. DOI: 10.1016/S0001-2998(78)80014-2. PMID: 112681.
 22. Agostini P, Singh S. Incentive spirometry following thoracic surgery: what should we be doing? *Physiotherapy*. 2009; 95 (2): 76–82. DOI: 10.1016/j.physio.2008.11.003. PMID: 19627688.
 23. Manapunsopoe, S., Thanakiatpinyo, T., Wongkornrat, W., Chuaychoo, B., Thirapatarapong, W. Effectiveness of incentive spirometry on inspiratory muscle strength after coronary artery bypass graft surgery. *Heart, Lung Circ*. 2019; 29 (8): 1180–1186. DOI: 10.1016/j.hlc.2019.09.009. PMID: 31735684.
 24. 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: 10.7759/cureus.6851. PMID: 32181086.
 25. Dempsey T.M, Scanlon P.D. Pulmonary function tests for the generalist: a brief review. *Mayo Clin Proc*. 2018; 93 (6): 763–771. DOI: 10.1016/j.mayocp.2018.04.009. PMID: 29866281.
 26. Nathan S.D., Wanger J., Zibrak J.D., Wencel M.L., Burg C., Stauffer J.L. Using forced vital capacity (FVC) in the clinic to monitor patients with idiopathic pulmonary fibrosis (IPF): pros and cons. *Expert Rev Respir Med*. 2021; 15 (2): 175–181. DOI: 10.1080/17476348.2020.1816831. PMID: 32985286.
 27. Beningfield A., Jones A. Peri-operative chest physiotherapy for paediatric cardiac patients: a systematic review and meta-analysis. *Physiotherapy*. 2018; 104 (3): 251–263. DOI: 10.1016/j.physio.2017.08.011. PMID: 29361296.
 28. Alwekhyan S.A., Alshraideh J.A., Yousef K.M., Hayajneh F. Nurse-guided incentive spirometry use and postoperative pulmonary complications among cardiac surgery patients: a randomized controlled trial. *Int J Nurs Pract*. 2022; 28 (2): e13023. DOI: 10.1111/ijn.13023. PMID: 34676618.

Поступила 26.08.2022

Принята в печать 30.01.2023