© CC BY Коллектив авторов, 2021
УДК 611.24-089.878 : 612.2.019.941
DOI: 10.24884/0042-4625-2021-180-2-93-100

ПРОГНОЗИРУЕМАЯ И РЕАЛЬНАЯ ФУНКЦИЯ ДЫХАНИЯ ПОСЛЕ АНАТОМИЧЕСКИХ РЕЗЕКЦИЙ ЛЕГКОГО (обзор литературы)

А. Л. Акопов*, С. М. Черный, Р. П. Мишра, М. Г. Ковалев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

Поступила в редакцию 11.06.2020 г.; принята к печати 28.04.2021 г.

Состоятельность газообменной функции респираторной паренхимы, остающейся после резекции легкого, является одним из определяющих факторов как непосредственного результата операции, так и качества жизни пациента в дальнейшем. Проведен целый ряд исследований с целью объективизации предоперационного прогноза предела функциональной безопасности торакальных операций с использованием разнообразных методов и формул. К сожалению, до настоящего времени нет убедительных данных об абсолютной точности хотя бы одного из предложенных методов. На процесс реабилитации послеоперационной газообменной функции легких влияют не только объем резекции паренхимы, но и зона резекции, способ и травматичность доступа, степень тяжести эмфиземы легких, интраоперационная травма структур средостения, послеоперационное прогрессирование легочного фиброза и т. д., а видеоассистированная хирургия и сегментарные анатомические резекции не всегда способны обеспечить очевидные функциональные преимущества в отдаленные сроки после операций. В течение 1-го года после анатомической резекции легкого функциональные показатели чаще всего улучшаются. Причина (или причины) такого улучшения не всегда ясны и могут быть связаны с компенсаторным ростом легочной паренхимы у ряда больных.

Ключевые слова: операбельность, резекция легкого, функция внешнего дыхания, предоперационное прогнозирование

Для цитирования: Акопов А. Л., Черный С. М., Мишра Р. П., Ковалев М. Г. Прогнозируемая и реальная функция дыхания после анатомических резекций легкого (обзор литературы). *Вестник хирургии имени И. И. Грекова*. 2021;180(2):93–100. DOI: 10.24884/0042-4625-2021-180-2-93-100.

* **Автор для связи:** Андрей Леонидович Акопов, ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова» Минздрава России, 197022, Россия, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6-8. E-mail: akopovand@mail.ru.

REAL AND PREDICTED LUNG FUNCTION AFTER ANATOMICAL LUNG RESECTIONS (review of literature)

Andrey L. Akopov*, Semen M. Cherny, Radezh P. Mishra, Mikhail G. Kovalev

Pavlov University, Saint Petersburg, Russia

Received 11.06.2020; accepted 28.04.2021

The function of the respiratory parenchyma remaining after lung resection is one of the determining factors of the immediate result of the operation and the postoperative quality of life. A number of studies have been conducted to objectify the preoperative prognosis of the functional safety limit of thoracic interventions using a variety of methods and formulas. Unfortunately, until now, there is no convincing data on the correctness of at least one of the proposed methods for predicting respiratory function. The process of rehabilitation of postoperative ventilation function in the lungs is affected not only by the volume of parenchymal resection, but also by the area of resection, the method and trauma of access, the severity of emphysema, intraoperative trauma of mediastinal structures, postoperative progression of pulmonary fibrosis, etc., and video assisted surgery and segmental resections do not provide an obvious functional advantage in the long term after operations. During the first year after anatomical resection of the lung, functional indicators usually improve. Reasons (or reason) of such improvements are not always clear and may be associated with compensatory growth of the pulmonary parenchyma in a number of patients.

Keywords: operability, lung resection, respiratory function, preoperative prognosis

For citation: Akopov A. L., Cherny S. M., Mishra R. P., Kovalev M. G. Real and predicted lung function after anatomical lung resections (review of literature). *Grekov's Bulletin of Surgery*. 2021;180(2):93–100. (In Russ.). DOI: 10.24884/0042-4625-2021-180-2-93-100.

* **Corresponding author:** Andrey L. Akopov, Pavlov University, 6-8, L'va Tolstogo str., Saint Petersburg, 197022, Russia. E-mail: akopovand@mail.ru.

Введение. Сохранение газообменной функции респираторной паренхимы, остающейся после резекции легкого, является одним из определяющих факторов как непосредственного результата операции, так и послеоперационного качества жизни пациентов [1–3]. В практике каждого торакального хирурга имеют место наблюдения, когда успешная операция позволяла излечить или достичь длительной ремиссии заболевания, явившегося показанием к операции, но возникавшее после нее ограничение функции внешнего дыхания существенным образом сказывалось на течении раннего послеоперационного периода и качестве жизни в дальнейшем; поэтому углубленная оценка резервов респираторной системы является обязательной у больных, подвергающихся операциям на легких [2]. Разработано целое научное направление, касающееся оценки «непосредственной» функциональной переносимости резекций легких, при этом исключительно мало исследований, оценивающих их последствия на дыхательную функцию в отдаленные сроки после операции. Предметом представленного обзора литературы является аналитическое обсуждение существующих взглядов на сопоставление расчетных и фактических функциональных последствий анатомических резекций легких в отдаленном послеоперационном периоде.

Состоятельность функции внешнего дыхания определяется газообменом между окружающей средой и организмом, в котором интегральное взаимодействие с системой кровообращения должно обеспечивать эффективный транспорт газов внутри организма в соответствии с потребностями тканевого дыхания [4]. Вот почему определение функциональной операбельности и реабилитации физиологической целостности дыхательной системы после резекции легких заключается в необходимости комплексного подхода к ее оценке [2, 5, 6].

Принято считать, что легкое взрослого человека не обладает способностью воспроизводить новые альвеолы, т. е., теоретически, послеоперационная функция внешнего дыхания зависит от объема резекции с учетом исходных параметров [6]. Однако на функцию оставшейся паренхимы могут влиять и другие факторы, такие как зона и объем резекции (верхняя или нижняя лобэктомия, пневмонэктомия), степень выраженности эмфиземы, хирургический доступ (открытый или видеоассистированный), степень травматизации структур средостения, нервов, диафрагмы, легочной ткани, костно-мышечного каркаса грудной стенки, проведение в предоперационном периоде специальной противоопухолевой терапии, конституциональные особенности пациента, выраженность междолевой щели и др. В ряде случаев интраоперационная ситуация диктует необходимость вносить коррективы в ход и объем оперативного вмешательства. Анатомические особенности, например, отсутствие междолевой щели, могут повлиять на характер операции. Риск нерадикальности и невозможности надежной обработки долевых сосудов или бронхов в связи с близостью опухоли также могут вынуждать хирургов прибегнуть к увеличению объема резекции. Наличие или отсутствие интра- и послеоперационных осложнений, степень выраженности болевого синдрома, фактор курения в послеоперационном периоде, проведение послеоперационной противоопухолевой терапии также могут сказаться на функциональном состоянии остающейся после резекции легочной ткани. Кроме того, послеоперационная функция легких изменяется в зависимости от времени, прошедшего после операции. Через 6–12 месяцев обычно нивелируются отрицательные последствия хирургической травмы и общей анестезии – повреждение тканей грудной стенки и легочной паренхимы, воздействие операционного стресса, кровопотеря, непосредственно не связанные с воздействием на ткань легкого рефлекторные влияния, проведение искусственной вентиляции легких, выраженность

болевого синдрома и др. На восстановление функции внешнего дыхания может оказать влияние и формирующийся после резекции спаечный процесс, степень выраженности которого предсказать практически невозможно. Нет сомнений и в том, что возраст больного и сопутствующая патология во многом определяют компенсаторные возможности организма в послеоперационном периоде [7].

Все это оказывает влияние на сложность прогнозирования и объясняет возможное значительное расхождение между предполагаемой и реальной послеоперационной функцией внешнего дыхания в каждом отдельном случае. Торакальные хирурги, работающие в разных центрах, используют разные методы оценки функциональной состоятельности остающейся после операции легочной паренхимы: от относительно простых – методы расчета предсказанных послеоперационных значений по формулам Kristersson/Olsen [8], Juhl/Frost [9], подразумевающим учет 19 (анатомических) сегментов легких, по формуле К. Nakahara, учитывающей 42 субсегмента обоих легких [10], до более сложных с использованием перфузионной сцинтиграфии, вентиляционной сцинтиграфии, однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (КТ), КТ с определением объема и плотности легочной ткани, традиционной КТ с внутривенным контрастным усилением, перфузионной магнитно-резонансной томографии, перфузионной и вентиляционной КТ, визуализации вибрационных колебаний. Для уточнения расчетов предлагается целый ряд других формул и дорогостоящих методов исследований [3, 6, 11–22], однако анализ предполагаемой точности большинства из них до сих пор не проводился.

Проведение общей анестезии при торакальных вмешательствах требует тотальной релаксации мышц, но, подерживая безопасность искусственной вентиляции легких, миоплегия в сочетании с прямым эффектом хирургической травмы неизбежно приводит к временной дисфункции дыхательной мускулатуры. Эти факторы, а также действие самих общих анестетиков, вызывающих транзиторное нарушение центральной регуляции дыхания, способствуют уменьшению функционирующего объема легких за счет коллапса дыхательных путей малого калибра и развития микроателектазов, особенно у пациентов с хронической обструктивной болезнью легких (ХОБЛ). И нет однозначного мнения о том, как это влияет на процесс отдаленного функционального восстановления легких.

Эти изменения являются одной из основных причин послеоперационной гипоксемии и сохраняются в течение нескольких дней после операции. Функция легких в значительной степени нарушается вследствие повреждения грудной стенки. Поэтому в раннем послеоперационном периоде вентиляционная способность легких почти всегда оказывается ниже прогнозируемых значений [21]. С улучшением подвижности грудной стенки вентиляционная способность улучшается. Через 3 месяца после лобэктомии показатели функции внешнего дыхания могут стать выше прогнозируемых значений [13, 15, 23–26] и продолжают повышаться в течение еще нескольких месяцев [13, 15]. После пневмонэктомии, наоборот, не обнаружено восстановления спирометрических показателей в период между 3 и 6 месяцами [24]. Возможно, в случаях пневмонэктомии роль травмы грудной стенки функционально не так значима по сравнению с фактом удаления целого легкого. По данным других авторов [27], частичное восстановление функции внешнего дыхания после пневмонэктомии происходит относительно медленно, в течение нескольких лет. Интересно, что после трансплантации легких восстановление их вентиляционной способности продолжается в течение 6–9 месяцев после операции [28].

Процентное различие показателей функции легких после лобэктомии в отдаленном периоде (6–12 месяцев) по сравнению с дооперационными значениями [31]

The percentage difference in lung function indicators after lobectomy in the long-term period (6–12 months) compared with preoperative values [31]

Показатель	Авторы				
	C. T. Bolliger [32]	J. S. Wang [33]	Y. Nagamatsu [25]	A. Brunelli [11]	Y. Funakoshi [26]
Месяцы после операции	6	12	12	3	12
Число пациентов	50	19	18	180	80
Жизненная емкость легких (ЖЕЛ)	–7,3	–14,0	–17,3	Не рассчитывалась	–18,9
Объем форсированного выдоха за 1 с (ОФВ ₁)	–8,8	–10,6	–17,6	–16	–17,6
Диффузионная способность легких (DLCO)	–4,0*	–3,6	–5,0	–11,5	Не рассчитывалась
Максимальное потребление кислорода (VO _{2 max})	–1,0*	–11,8	0*	–3,0	Не рассчитывалось

* – нет статистически значимого различия по сравнению с дооперационными значениями.

Прогнозирование послеоперационной функции легких.

Формула, основанная на подсчете числа функционирующих сегментов, которые будут резецированы, и числа всех функционирующих сегментов, является наиболее часто применяемой в прогнозировании послеоперационной функции легких [9]. Идея этой формулы основана на равном вкладе каждого функционирующего сегмента в газообменную функцию легких. Следует, однако, учесть, что ни одна из предложенных формул корректно не учитывает наличие центральной опухоли, частично обтурирующей просвет сегментарного/долевого/главного бронха (когда тотального ателектаза сегмента нет, но есть гиповентиляция, частичный ателектаз), а также случаи опухолевого стенозирования крупных сосудов легких. У пациентов с гетерогенными заболеваниями легких для оценки функционального вклада пораженного участка легкого, который будет резецирован, используется перфузионная сцинтиграфия. Максимально эффективный газообмен подразумевает перфузию альвеол, соответствующую их вентиляции, поэтому перфузионная сцинтиграфия, интегрированная с КТ, должна способствовать более корректному прогнозированию послеоперационной функции легких [13, 15]. Разработаны и другие лучевые методы, которые могут быть использованы для оценки регионарной функции легких, например, применение количественной КТ [3, 15, 20], перфузионной магнитно-резонансной томографии или двухэнергетической КТ [16]. Но эти методы рекомендуется использовать у пациентов с ограниченным функциональным резервом, поскольку они дорогие и не являются более точными по сравнению со стандартными подходами при относительно здоровых легких [6, 17].

Идея, состоящая в том, что степень потери легочной функции после лобэктомии пропорциональна объему резекции, не соответствует результатам, полученным в большинстве исследований. При сравнении двух классических формул для определения прогнозируемого уровня объема форсированного выдоха за первую секунду (ОФВ₁) – формулы Kristersson/Olsen [8] и формулы Juhl/Frost [9], формула Kristersson/Olsen оказалась более точной в прогнозировании результатов спирометрии в послеоперационном периоде. Получаемые по формуле Juhl/Frost результаты в среднем занижали на 300 мл предполагаемые данные в сравнении с реальными [27]. Послеоперационный уровень ОФВ₁ в отдаленные сроки был на 250 мл выше значений, предсказанных при помощи стандартной методики подсчета сегментов и объема резекции после лобэктомии; у больных, перенесших пневмонэктомию,

различие в величине этого показателя составляло порядка 500 мл [23, 24].

Необходимо учитывать, что показатель ОФВ₁ в большей мере характеризует бронхиальную проходимость, но не газообменную функцию легких в целом и, тем более, кардиореспираторные резервы. Широко используемые 6-минутный тест и лестничная проба (SCt) могут являться альтернативой лабораторного кардиореспираторного нагрузочного тестирования на велоэргометре, учитывая возможность выполнения тестов где угодно и любым заинтересованным специалистом [29, 30]. В 2007 г. M. V. Cataneo et al. [23] на материале 40 больных показали, что по сравнению с VO_{2max}, измеренным методом эргоспирометрии, SCt и 6-минутный тест характеризуются высокой точностью, причем прогнозируемые значения хорошо соответствовали реальным послеоперационным данным спустя 3 месяца после оперативного вмешательства. Даже несмотря на снижение послеоперационной ОФВ₁, дистанция при прохождении 6-минутного теста, а также высота подъема при выполнении SCt были сопоставимы до и после операции. Другие авторы [11] также рекомендуют эти тесты для оценки риска послеоперационной заболеваемости и смертности, но не связывают его результат с прогнозированием послеоперационной функции легких. В таблице показано процентное изменение послеоперационной легочной функции по отношению к предоперационным величинам по результатам наиболее крупных исследований.

Уровень ОФВ₁ после лобэктомии оказался на 8,8–17,6 % ниже предоперационных значений [11, 25, 32, 33], хотя лобэктомия соответствовала резекции, в среднем, около 20 % от всей легочной паренхимы. При этом, несмотря на существенное снижение уровня ОФВ₁, диффузионная способность легких (DLCO) и максимальное потребление кислорода (VO_{2max}) после лобэктомии снижались незначительно [11, 32]. По данным других авторов [25], толерантность к физической нагрузке, измеренная методом велоэргометрии, не снижалась после лобэктомии. Можно сделать вывод, что, несмотря на некоторую противоречивость в результатах разных исследований, оценка послеоперационной функции легких путем анализа только уровня ОФВ₁ преувеличивает степень функциональных потерь.

Факторы, определяющие послеоперационную функцию легких. Объем резекции (пневмонэктомия/лобэктомия/сегментэктомия). Большинство результатов исследований свидетельствуют о том, что после лобэктомии такие функциональные показатели, как ФЖЕЛ,

ОФВ₁, DLCO, VO_{2max}, снижаются в меньшей степени, чем после пневмонэктомии [11, 32], а после сегментэктомии показатели функции внешнего дыхания (ЖЕЛ и ОФВ₁) характеризуются большими значениями, чем после лобэктомии [34, 35]. Однако нет сведений о том, что сегментэктомия способствует большему сохранению послеоперационной DLCO, VO_{2max} и толерантности к физической нагрузке при сопоставлении с лобэктомией [36], при том, что эти показатели не снижаются значительно даже после лобэктомии, как упоминалось ранее. У больных, перенесших сегментэктомию и лобэктомию, послеоперационные значения VO_{2max}, измеренные через 3 месяца после операции, не могут быть предсказаны только по объему резекции [36]. Несмотря на то, что после сегментэктомии несколько сегментов в пораженной доле сохраняются, оставленные сегменты деформируются и в течение послеоперационного периода обычно несколько уменьшаются по сравнению с исходным объемом [37, 38]. Анализ литературы не позволяет сделать однозначный вывод о том, что сегментэктомия обеспечивает существенные функциональные преимущества по сравнению с лобэктомией. В некоторых работах показано, что функциональные преимущества сегментэктомии нивелируются уже через 6 месяцев после операции [39, 40].

Бронхопластика. Принято считать, что функция легких после бронхопластической лобэктомии сравнима с таковой после стандартной лобэктомии [41]; поэтому, если бронхопластическая операция онкологически приемлема, это будет способствовать большей сохранности функции дыхания по сравнению с пневмонэктомией. В то же время стеноз анастомоза после бронхопластической резекции легкого, что нередко развивается после операции, зачастую приводит к ухудшению вентиляционной способности оставшейся доли (долей) легкого [42, 43]. Так, частота осложнений со стороны бронхиального анастомоза достигает 21 %, а частота стенозов – 9 %, причем часть этих осложнений с целью их коррекции определяет необходимость удаления дополнительной легочной паренхимы [43].

Индукционная химио-, химиолучевая терапия. Можно считать доказанным, что предоперационная противоопухолевая терапия способствует дополнительному снижению дыхательной функции из-за токсического воздействия лечения не только на пораженную долю или легкое, но и на всю паренхиму легких [44]. Многие исследователи показали, что степень потери легочной функции после лобэктомии выше у пациентов, получавших предоперационную противоопухолевую терапию [45]. Сегодня нет сомнений в том, что такое лечение может сыграть определенную роль в нарушении восстановления функции оставшейся легочной паренхимы после операции. Однако вопрос об уровне восстановления функции легких в отдаленный период после операции по сравнению с больными, не получавшими предоперационное противоопухолевое лечение, остается открытым.

Наличие хронической обструктивной болезни легких. Послеоперационная функция легких иногда улучшается после лобэктомии за счет эффекта редукиции объема у пациентов с тяжелой эмфиземой легких. Снижение бронхиальной обструкции, восстановление функции дыхательных мышц, устранение вентиляции мертвого пространства в вентилируемых, но неперфузируемых областях, улучшение распределения кровотока в легких – все это может способствовать, казалось бы, неожиданному улучшению их газообменной функции [46]. В целом ряде исследований подчеркивается, что после резекции легких в этих случаях их остаточная функция становится парадоксально выше прогнозируемых значений у части больных с ХОБЛ [47, 48]. Однако предсказать такое улучшение практически невозможно.

Область резекции (верхняя/нижняя лобэктомия). Нет однозначного ответа на вопрос, какой вариант лобэктомии (верхняя или нижняя лобэктомия) в меньшей степени компрометирует функцию внешнего дыхания [37, 39], поскольку механизмы, лежащие в основе улучшения функции легких после операции, являются многофакторными. При преобладании эмфиземы в верхних долях, вероятно, возможен эффект редукиции объема легкого после верхней лобэктомии. В то же время верхняя лобэктомия может отрицательно повлиять на функцию оставшейся нижней доли в связи с анатомической дислокацией, которая приводит к сужению или перегибу главного или долевого бронхов [49]. К. Ueda et al. [49] проводили анатомо-функциональный анализ с использованием количественной КТ и спирометрии у пациентов без выраженной эмфиземы, перенесших верхнюю или нижнюю лобэктомию, и показали, что послеоперационная функция внешнего дыхания и объем функционирующей легочной паренхимы сопоставимы. По мнению A. Sengul et al. [50], если после удаления верхней доли общее уменьшение объема легких компенсируется в основном растяжением оставшейся нижней доли, то после нижней лобэктомии общий объем легких снижается в меньшей степени, что происходит за счет более выраженного компенсаторного смещения средостения и увеличения контрлатерального легкого. В то же время значимый перегиб бронха, особенно после удаления верхних долей, также не может не сказаться на уровне жизненной емкости легких [49].

Хирургический доступ (видеоассистированная резекция/традиционная торакотомия). Вентиляционная способность легких нарушается в раннем послеоперационном периоде в соответствии со степенью тракции ребер и травмы мышц грудной стенки (торакотомия с пересечением больших мышц > торакотомия с сохранением мышц > видеоассистированный доступ) вследствие изменения механики дыхания [51]. Можно считать доказанным, что через 3 месяца после операции вентиляционная способность легких редуцируется меньше после лобэктомии с помощью видеоассистированного доступа, чем после «агрессивной» торакотомии [52, 53]. Однако эти различия могут уменьшаться или вовсе исчезать через 6–12 месяцев после резекции [53].

Компенсаторный рост объема легких. После любой резекции легкого оставшаяся его паренхима компенсаторно «увеличивается» и заполняет остаточную плевральную полость, что связано как с уменьшением размеров этой полости, так и с растяжением самого легкого. В то же время в экспериментальных исследованиях показано, что у грызунов послеоперационное увеличение оставшейся части легкого может быть связано и с так называемым «альвеолярным умножением», т. е. ростом числа функционирующих альвеол, и компенсаторным увеличением объема легких. С. С. Hsia et al. [54] наблюдали компенсаторное увеличение объема легкого у взрослых собак после правосторонней пневмонэктомии. Нет убедительных доказательств компенсаторного увеличения легких у людей, поскольку достаточно сложно адекватно сопоставить объем легочной ткани до и после операции. В то же время J. P. Butler et al. [55] с помощью МРТ с использованием гиперполяризованного гелия доказали наличие компенсаторного роста объема легкого у 33-летней женщины. Большинство же взрослых пациентов, перенесших анатомическую резекцию легких по поводу рака, вероятнее всего, имеют ограниченный потенциал для компенсаторного роста объема легких, а послеоперационное увеличение оставшейся части легкого объясняется простой гиперинфляцией. После пневмонэктомии расширение контрлатерального легкого может даже усиливать дыхательную недостаточность из-за возникающего смещения средостения, которое, в свою очередь, приводит к сужению крупных

дыхательных путей и (или) легочных сосудов за счет перегиба и сдавления структурами средостения или телами позвонков [56], и это явление известно как постпневмонэктомический синдром. Нельзя, однако, исключить, что постпневмонэктомический синдром, развивающийся в отдаленные сроки после операции, является результатом и компенсаторного роста объема легких. По мнению С. С. Hsia et al. [57], профилактика смещения средостения после пневмонэктомии у собак вызывала ограничение компенсаторного роста объема оставшегося легкого. Дальнейшее изучение этого вопроса может привести к дополнительному совершенствованию предоперационной оценки функциональных результатов анатомических резекций легкого.

Заключение. Функциональное состояние остающейся после анатомических резекций легочной ткани нарушается сразу после операции и улучшается в течение 1-го года и, чаще всего, достигает уровня выше прогнозируемого. Качество такого прогнозирования зависит не только от объема резекции легкого, но и от множества других факторов. Расчет послеоперационного значения ОФВ₁ недостаточен для объективизации прогнозируемой характеристики легочной функции. Не менее важен прогноз относительно возможного изменения газообменной функции и толерантности к физической нагрузке после операции. Определенное несоответствие между прогнозируемой и реальной послеоперационной вентиляционной и газообменной функциями легких может быть связано с происходящими непрогнозируемыми изменениями как анатомии дыхательных путей, так и объема респираторной паренхимы. Возможный потенциал оставшейся части легкого в отношении компенсаторного прироста функционального объема может влиять на сохранение толерантности к физической нагрузке и качество жизни пациентов после перенесенной операции. Учитывая различие подходов к функциональной оценке пациентов, представляемых авторами, а также получение разных данных при использовании одних и тех же методов оценки, требуется доработка существующих критериев и представление более совершенного подхода к прогнозированию основных функциональных критериев и к определению операбельности пациентов.

Конфликт интересов

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Соответствие нормам этики

Авторы подтверждают, что соблюдены права людей, принимавших участие в исследовании, включая получение информированного согласия в тех случаях, когда оно необходимо, и правила обращения с животными в случаях их использования в работе. Подробная информация содержится в Правилах для авторов.

Compliance with ethical principles

The authors confirm that they respect the rights of the people participated in the study, including obtaining informed consent when it is necessary, and the rules of treatment of animals when they are used in the study. Author Guidelines contains the detailed information.

ЛИТЕРАТУРА

- Colice G. L., Shafazand S., Griffin J. P. et al. Physiologic evaluation of the patient with lung cancer being considered for resectional surgery : ACCP evidenced-based clinical practice guidelines (2nd ed.) // *Chest*. 2007. № 77. P. 132–161. Doi: 10.1378/chest.07-1359.
- Physiologic evaluation of the patient with lung cancer being considered for resectional surgery : diagnosis and management of lung cancer.

- 3rd ed. American College of Chest Physicians evidence-based clinical practice guidelines / A. Brunelli, A. W. Kim, K. I. Berger, D. J. Addrizzo-Harris // *Chest*. 2013. № 143. P. 166–190. Doi: 10.1378/chest.12-2395.
- Fourdrain A., Dominici F., Lafitte S. et al. Quantitative computed tomography to predict postoperative FEV1 after lung cancer surgery // *JTD*. 2017. № 9. P. 2413–2418. Doi: 10.21037/jtd.2017.06.118.
- Pocock G., Richards C. D. Human Physiology – the Basis of Medicine. Oxford : Oxford University Press. 2017. 944 p. Doi: 10.1136/bjms.2006.026120.
- Predicted postoperative lung function is associated with all-cause long-term mortality after major lung resection for cancer / M. K. Ferguson, S. Watson, E. Johnson, W. T. Vigneswarana // *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2014. № 45. P. 660–664. Doi: 10.1093/ejcts/ezt462.
- Oswald N. K., Halle-Smith J., Mehdi R. et al. Predicting Postoperative Lung Function Following Lung Cancer Resection : A Systematic Review and Meta-analysis // *E. Clinical Medicine*. 2019. № 15. P. 7–13. Doi: 10.1016/j.eclinm.2019.08.015.
- Акопов А. Л., Черный С. М. Хирургическое лечение рака легкого у пожилых больных // *Вестн. хир. им. И. И. Грекова*. 2005. № 164. С. 112–116.
- Kristersson S., Lindell S. E., Svanberg L. Prediction of pulmonary function loss due to pneumonectomy using 133 Xe-radiospirometry // *Chest*. 1972. № 62. P. 694–698. Doi: 10.1378/chest.62.6.694.
- Juhl B., Frost N. A comparison between measured and calculated changes in the lung function after operation for pulmonary cancer // *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*. 1975. № 19. P. 39–45. Doi: 10.1111/j.1399-6576.1975.tb05411.x.
- Nakahara K., Ohno K., Hashimoto J. et al. Prediction of postoperative respiratory failure in patients undergoing lung resection for lung cancer // *Ann. Thorac. Surg.* 1988. № 46. P. 549–552. Doi: 10.1016/s0003-4975(10)64694-2.
- Brunelli A., Xiumé F., Refai M. et al. Evaluation of expiratory volume, diffusion capacity, and exercise tolerance following major lung resection : a prospective follow-up analysis // *Chest*. 2007. № 131. P. 141–147. Doi: 10.1378/chest.06-1345.
- Vinogradskiy Y., Jackson M., Schubert L. et al. Assessing the use of 4DCT-ventilation in pre-operative surgical lung cancer evaluation // *Med. Phys.* 2017. № 44. P. 200–208. Doi: 10.1002/mp.12026.
- Eslick E. M., Bailey D. L., Harris B. et al. Measurement of preoperative lobar lung function with computed tomography ventilation imaging : progress towards rapid stratification of lung cancer lobectomy patients with abnormal lung function // *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2016. № 49. P. 1075–1082. Doi: 10.1093/ejcts/ezv276.
- Sudoh M., Ueda K., Kaneda Y. et al. Breath-hold single-photon emission tomography and computed tomography for predicting residual pulmonary function in patients with lung cancer // *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2006. № 131. P. 994–1001. Doi: 10.1016/j.jtcvs.2005.12.038.
- Ueda K., Tanaka T., Li T.S. et al. Quantitative computed tomography for the prediction of pulmonary function after lung cancer surgery : a simple method using simulation software // *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2009. № 35. P. 414–418. Doi: 10.1016/j.ejcts.2008.04.015.
- Eun Jin Chae, Namkug Kim, Joon Beom Seo. et al. Prediction of postoperative lung function in patients undergoing lung resection : dual-energy perfusion computed tomography versus perfusion scintigraphy // *Invest. Radiol.* 2013. № 48. P. 622–627. Doi: 10.1097/RLI.0b013e318289fa55.
- Bolliger C. T., Guckel C., Engel H. et al. Prediction of functional reserves after lung resection: comparison between quantitative computed tomography, scintigraphy, and anatomy // *Respiration*. 2002. № 69. P. 482–489. Doi: 10.1159/000066474.
- Holvoet T., Meerbeeck J. P., Wiele J. D. et al. Quantitative perfusion scintigraphy or anatomic segment method in lung cancer resection // *Lung Cancer*. 2011. № 74. P. 212–218. Doi: 10.1016/j.lungcan.2011.03.001.
- Aoki K., Y. Izumi, Watanabe W. et al. Generation of ventilation/perfusion ratio map in surgical patients by dual-energy CT after xenon inhalation and intravenous contrast media // *Cardiothorac. Surg.* 2018. № 13 (1). P. 43. Doi: 10.1186/s13019-018-0737-2.
- Provost K., Leblond A., Gauthier-Lemire A. et al. Reproducibility of Lobar Perfusion and Ventilation Quantification Using SPECT/CT Segmentation Software in Lung Cancer Patients // *J. Nucl. Med. Technol.* 2017. № 45(3). P. 185–192. Doi: 10.2967/jnmt.117.191056
- Fernández-Rodríguez L., Torres I., Romera D. et al. Prediction of postoperative lung function after major lung resection for lung cancer using

- volumetric computed tomography // *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2018. Vol. 156, № 6. P. 2297–2308. Doi: 10.1016/j.jtcvs.2018.07.040.
22. Le Roux P. Y., Leong T. L., Barnett S. A. et al. Gallium-68 perfusion positron emission tomography/computed tomography to assess pulmonary function in lung cancer patients undergoing surgery // *Cancer Imaging*. 2016. № 16. P. 24. Doi: 10.1186/s40644-016-0081-5.
 23. Comparison between actual and predicted postoperative stair-climbing test, walk test and spirometric values in patients undergoing lung resection / M. V. C. Pancieri, D. C. Cataneo, J. C. Montovani, A. J. M. Cataneo // *Acta cirurgica brasileira, Sociedade Brasileira para Desenvolvimento Pesquisa em Cirurgia*. 2010. Vol. 25, № 6. P. 536–540. Doi: 10.1590/S0102-86502010000600014.
 24. Kazuhiro U., Masataro H., Nobuyuki T. et al. Long-term pulmonary function after major lung resection // *Gen. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2014. № 62. P. 24–30. Doi: 10.1007/s11748-013-0346-x.
 25. Nagamatsu Y., Maeshiro K., Kimura N. Y. et al. Long-term recovery of exercise capacity and pulmonary function after lobectomy // *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2007. № 134. P. 1273–1278. Doi: 10.1016/j.jtcvs.2007.06.025.
 26. Funakoshi Y., Takeda S., Sawabata N. et al. Long-term pulmonary function after lobectomy for primary lung cancer // *Asian Cardiovasc. Thorac. Ann.* 2005. № 13. P. 311–315. Doi: 10.1177/021849230501300404.
 27. Actual and predicted Postoperative Changes in Lung Function After Pneumonectomy / A. Sietske, M. D. Smulders, W. J. M. Frank, M. D. Smeenk // *Chest*. 2004. № 125. P. 1735–1741. Doi: 10.1378/chest.125.5.1735.
 28. Park C. H., Kim T. H., Lee S. et al. New predictive equation for lung volume using chest computed tomography for size matching in lung transplantation // *Transplant. Proc.* 2015. № 47. P. 498–503. Doi: 10.1016/j.transproceed.2014.12.025.
 29. Evaluating patients walking capacity during hospitalization for lung cancer resection / P. A. Esteban, N. Hernández, N. M. Novoa, G. Varela // *Interact Cardiovasc. Thorac. Surg.* 2017. Vol. 25, № 2. P. 268–271. Doi: 10.1093/icvts/ivx100.
 30. Отбор пациентов с сопутствующей хронической обструктивной болезнью для проведения анатомических резекций при раке легкого / А. Л. Акопов, С. Д. Горбунков, А. И. Романихин, М. Г. Ковалев // *Вестн. хир. им. И. И. Грекова*. 2019. Т. 178, № 5. С. 121–126. Doi: 10.24884/0042-4625-2019-178-5-121-126.
 31. Kazuhiro U., Masataro H., Nobuyuki T. et al. Long-term pulmonary function after major lung resection // *Gen. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2014. № 62. P. 24–30. Doi: 10.1007/s11748-013-0346-x.
 32. Bolliger C. T., Jordan P., Sole' r M. et al. Pulmonary function and exercise capacity after lung resection // *Eur. Respir. J.* 1996. № 9. P. 415–421. Doi: 10.1183/09031936.96.09030415.
 33. Wang J. S., Abboud R. T., Wang L. M. Effect of lung resection on exercise capacity and on carbon monoxide diffusing capacity during exercise // *Chest*. 2006. № 129. P. 863–872. Doi: 10.1378/chest.129.4.863.
 34. Okada M., Koike T., Higashiyama M. et al. Radical sublobar resection for small-sized non-small cell lung cancer : a multicenter study // *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2006. № 132. P. 769–775. Doi: 10.1016/j.jtcvs.2006.02.063.
 35. Saito H., Nakagawa T., Ito M. Pulmonary Function After Lobectomy Versus Segmentectomy in Patients with Stage I Non-Small Cell Lung Cancer // *World J. Surg.* 2014. № 38. P. 2025–2031. Doi: 10.1007/s00268-014-2521-3.
 36. Harada H., Okada M., Sakamoto T. Functional advantage after radical segmentectomy versus lobectomy for lung cancer // *Ann. Thorac. Surg.* 2005. № 80. P. 2041–2045. Doi: 10.1016/j.athoracsur.2005.06.010.
 37. Ueda K., Tanaka T., Hayashi M. et al. Computed tomography-defined functional lung volume after segmentectomy versus lobectomy // *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2010. № 37. P. 1433–1437. Doi: 10.1016/j.ejcts.2010.01.002.
 38. Nomori H., Shiraishi A., Cong Y. et al. Differences in postoperative changes in pulmonary functions following segmentectomy compared with lobectomy // *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2018. Vol. 53, № 3. P. 640–647. Doi: 10.1093/ejcts/ezx357.
 39. Bertolaccini L., Solli P. Should Segmentectomy Rather Than Lobectomy Be the Operation of Choice for Early-Stage Non-small Cell Lung Cancer // *Chest*. 2018. Vol. 153, № 3. P. 592–595. Doi: 10.1016/j.chest.2017.10.038.
 40. Suzuki H., Morimoto J., Mizobuchi T. et al. Does segmentectomy really preserve the pulmonary function better than lobectomy for patients with early-stage lung cancer // *Surg. Today*. 2017. Vol. 47, № 4. P. 463–469. Doi: 10.1007/s00595-016-1387-4.
 41. Andersson S. E., Rauma V. H., Sihvo E. I. Bronchial sleeve resection or pneumonectomy for non-small cell lung cancer : a propensity-matched analysis of long-term results, survival and quality of life // *J. Thorac. Dis.* 2015. № 7. P. 1742–1748. Doi: 10.3978/j.issn.2072-1439.2015.10.62.
 42. Bylicki O., Vandemoortele T., Orsini B. et al. Incidence and management of anastomotic complications after bronchial resection : a retrospective study // *Ann. Thorac. Surg.* 2014. Vol. 98, № 6. P. 1961–1967. Doi: 10.1016/j.athoracsur.2014.07.021.
 43. Yatsuyanagi E., Hirata S., Yamazaki K. et al. Anastomotic Complications After Bronchoplastic Procedures for Nonsmall Cell Lung Cancer // *Ann. Thorac. Surg.* 2000. № 70. P. 396–400. Doi: 10.1016/S0003-4975(00)01556-3.
 44. Perentes J., Bopp S., Krueger T. et al. Impact of lung function changes after induction radiochemotherapy on resected T4 non-small cell lung cancer outcome // *Ann. Thorac. Surg.* 2012. № 94. P. 1815–1822. Doi: 10.1016/j.athoracsur.2012.08.054.
 45. Nomori H., Shiraishi A., Cong Y. et al. Impact of induction chemoradiotherapy on pulmonary function after lobectomy for lung cancer // *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2018. Vol. 155, № 5. P. 2129–2137. Doi: 10.1016/j.jtcvs.2017.12.081.
 46. Sekine Y., Iwata T., Chiyo M. et al. Minimal alteration of pulmonary function after lobectomy in lung cancer patients with chronic obstructive pulmonary disease // *Ann. Thorac. Surg.* 2003. № 76. P. 356–361. Doi: 10.1016/s0003-4975(03)00489-2.
 47. Korst R. J., Ginsberg R. J., Ailawadi M. et al. Lobectomy improves ventilatory function in selected patients with severe COPD // *Ann. Thorac. Surg.* 1998. № 66. P. 898–902. Doi: 10.1016/s0003-4975(98)00697-3.
 48. Изменение функциональной способности легких после лобэктомии у больных с сопутствующей хронической обструктивной болезнью легких / П. К. Яблонский, А. М. Петрунькин, Г. В. Николаев, И. В. Мосин // *Вестн. хир. им. И. И. Грекова*. 2009. № 168. С. 26–30.
 49. Ueda K., Tanaka T., Hayashi M. et al. Clinical ramifications of bronchial kink after upper lobectomy // *Ann. Thorac. Surg.* 2012. № 93. P. 259–265. Doi: 10.1016/j.athoracsur.2011.08.065.
 50. Postoperative lung volume change depending on the resected lobe / A. T. Sengul, B. Sahin, C. Celenk, A. Basoglu // *Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2013. № 61. P. 131–137. Doi: 10.1055/s-0032-1322625.
 51. Endoh H., Tanaka S., Yajima T. et al. Pulmonary function after pulmonary resection by posterior thoracotomy, anterior thoracotomy or video-assisted surgery // *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2010. № 37. P. 1209–1214. Doi: 10.1016/j.ejcts.2009.11.016.
 52. Better pulmonary function and prognosis with video-assisted thoracic surgery than with thoracotomy / S. Kaseda, T. Aoki, N. Hangai, K. Shimizu // *Ann. Thorac. Surg.* 2000. № 70. P. 1644–1646. Doi: 10.1016/s0003-4975(00)01909-3.
 53. Kim S. J., Ahn S., Lee Y. J. et al. Factors associated with preserved pulmonary function in non-small-cell lung cancer patients after video-assisted thoracic surgery // *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2016. Vol. 49, № 4. P. 1084–1090. Doi: 10.1093/ejcts/ezv325.
 54. Compensatory lung growth occurs in adult dogs after right pneumonectomy / C. C. Hsia, L. F. Herazo, F. Fryder-Doffey, E. R. Weibel // *J. Clin. Invest.* 1994. № 94. P. 405–412. Doi: 10.1172/JCI117337.
 55. Butler J. P., Loring S. H., Patz S. et al. Evidence for adult lung growth in humans // *N. Engl. J. Med.* 2012. № 367. P. 244–247. Doi: 10.1056/NEJMoa1203983.
 56. Macare van Maurik A. F., Stubenitsky B. M., Swieten H. A. et al. Use of tissue expanders in adult postpneumonectomy syndrome // *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2007. № 134. P. 608–612. Doi: 10.1016/j.jtcvs.2007.05.014.
 57. Preventing mediastinal shift after pneumonectomy impairs regenerative alveolar tissue growth / C. C. Hsia, E. Y. Wu, E. Wagner, E. R. Weibel // *Am. J. Physiol. Lung. Cell. Mol. Physiol.* 2001. № 281. P. 1279–87. Doi: 10.1152/ajplung.2001.281.5.L1279.

REFERENCES

1. Colice G. L., Shafazand S., Griffin J. P., Keenan R., Bolliger, Physiologic C.T. Evaluation of the patient with lung cancer being considered for resectional surgery: ACCP evidenced-based clinical practice guidelines (2nd edition) // *Chest*. 2007;(77):132–161. Doi: 10.1378/chest.07-1359.

2. Brunelli A., Kim A. W., Berger K. I., Addrizzo-Harris D. J. Physiologic evaluation of the patient with lung cancer being considered for resectional surgery: diagnosis and management of lung cancer, 3rd ed. American College of Chest Physicians evidence-based clinical practice guidelines // *Chest*. 2013;(143):166–190. Doi: 10.1378/chest.12-2395.
3. Fourdrain A., Dominici F., Lafitte S., Iquille J., Prevot F., Lorne L., Monconduit J., Bagan P., Berna P. Quantitative computed tomography to predict postoperative FEV1 after lung cancer surgery // *JTD*. 2017;(9):2413–2418. Doi: 10.21037/jtd.2017.06.118.
4. Pocock G., Richards C. D. Human Physiology – the Basis of Medicine. Oxford, Oxford University Press, 2017:944. Doi: 10.1136/bjbm.2006.026120.
5. Ferguson M. K., Watson S., Johnson E., Vigneswarana W. T. Predicted postoperative lung function is associated with all-cause long-term mortality after major lung resection for cancer // *Eur J Cardiothorac Surg*. 2014;(45):660–664. Doi: 10.1093/ejcts/ezt462
6. Oswald N. K., Halle-Smith J., Mehdi R., Nightingale P., Naidu B., Turner A. M. Predicting Postoperative Lung Function Following Lung Cancer Resection: A Systematic Review and Meta-analysis // *E Clinical Medicine*. 2019;(15):7–13. Doi: 10.1016/j.eclim.2019.08.015.
7. Akopov A. L., Cherny S. M. Khirurgicheskoe lechenie raka legkhogo u pozhillikh bolnikh // *Grekov's Bulletin of Surgery*. 2005;(164):112–116. (In Russ.).
8. Kristersson S., Lindell S. E., Svanberg L. Prediction of pulmonary function loss due to pneumonectomy using 133 Xe-radiospirometry // *Chest*. 1972;(62):694–698. Doi: 10.1378/chest.62.6.694.
9. Juhl B., Frost N. A comparison between measured and calculated changes in the lung function after operation for pulmonary cancer // *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*. 1975;(19):39–45. Doi: 10.1111/j.1399-6576.1975.tb05411.x.
10. Nakahara K., Ohno K., Hashimoto J., Miyoshi S., Maeda H., Matsumura A., Mizuta T., Akashi A., Nakagawa K., Kawashima Y. Prediction of postoperative respiratory failure in patients undergoing lung resection for lung cancer // *Ann Thorac Surg*. 1988;(46):549–552. Doi: 10.1016/s0003-4975(10)64694-2.
11. Brunelli A., Xiumé F., Refai M., Salati M., Marasco R., Sciarra V., Sabbatini A. Evaluation of expiratory volume, diffusion capacity, and exercise tolerance following major lung resection: a prospective follow-up analysis // *Chest*. 2007;(131):141–147. Doi: 10.1378/chest.06-1345.
12. Vinogradskiy Y., Jackson M., Schubert L., Jones B., Castillo R., Castillo E., Guerrero T., Mitchell J., Rusthoven C., Miften M., Kavanagh B. Assessing the use of 4DCT-ventilation in pre-operative surgical lung cancer evaluation // *Med Phys*. 2017;(44):200–208. Doi: 10.1002/mp.12026.
13. Eslick E. M., Bailey D. L., Harris B., Kipritidis J., Stevens M., Li B. T. Measurement of preoperative lobar lung function with computed tomography ventilation imaging: progress towards rapid stratification of lung cancer lobectomy patients with abnormal lung function // *Eur J Cardiothorac Surg*. 2016;(49):1075–1082. Doi: 10.1093/ejcts/ezv276.
14. Sudoh M., Ueda K., Kaneda Y., Mitsutaka J., Li T.S., Suga K.; Breath-hold single-photon emission tomography and computed tomography for predicting residual pulmonary function in patients with lung cancer // *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2006;(131):994–1001. Doi: 10.1016/j.jtcvs.2005.12.038.
15. Ueda K., Tanaka T., Li T. S., Tanaka N., Hamano K. Quantitative computed tomography for the prediction of pulmonary function after lung cancer surgery: a simple method using simulation software // *Eur J Cardiothorac Surg*. 2009;(35):414–418. Doi: 10.1016/j.ejcts.2008.04.015.
16. Eun Jin Chae, Namkug Kim, Joon Beom Seo, Joo-Young Park, Jae-Woo Song, Hyun Joo Lee, Hye Jeon Hwang, Chaehun Lim, Yong Jin Chang, Yong Hee Kim. Prediction of postoperative lung function in patients undergoing lung resection: dual-energy perfusion computed tomography versus perfusion scintigraphy // *Invest Radiol*. 2013;(48):622–627. Doi: 10.1097/RLI.0b013e318289fa55.
17. Bolliger C. T., Guckel C., Engel H., Stohr S., Wyser C. P., Schoetzel A. Prediction of functional reserves after lung resection: comparison between quantitative computed tomography, scintigraphy, and anatomy // *Respiration*. 2002;(69):482–489. Doi: 10.1159/000066474.
18. Holvoet T., Meerbeeck J. P., Wiele J. D., Salhi B., Derom E. Quantitative perfusion scintigraphy or anatomic segment method in lung cancer resection // *Lung Cancer*. 2011;(74): 212–218. Doi: 10.1016/j.lungcan.2011.03.001.
19. Aoki K., Y. Izumi, Watanabe W., Shimizu Y., Osada H., Honda N., Itoh T., Nakayama M. Generation of ventilation/perfusion ratio map in surgical patients by dual-energy CT after xenon inhalation and intravenous contrast media // *Cardiothorac Surg*. 2018;13(1):43. Doi: 10.1186/s13019-018-0737-2.
20. Provost K., Leblond A., Gauthier-Lemire A., Filion É., Bahig H., Lord M. Reproducibility of Lobar Perfusion and Ventilation Quantification Using SPECT/CT Segmentation Software in Lung Cancer Patients // *J Nucl Med Technol*. 2017;45(3):185–192. Doi: 10.2967/jnmt.117.191056.
21. Fernández-Rodríguez L., Torres I., Romera D., Galera R., Casitas R., Martínez-Cerón E., Díaz-Agero P., Utrilla C., García-Río F. Prediction of postoperative lung function after major lung resection for lung cancer using volumetric computed tomography // *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2018;156(6):2297–2308. Doi: 10.1016/j.jtcvs.2018.07.040.
22. Le Roux P. Y., Leong T. L., Barnett S. A., Hicks R. J., Callahan J., Eu P. Gallium-68 perfusion positron emission tomography/computed tomography to assess pulmonary function in lung cancer patients undergoing surgery // *Cancer Imaging*. 2016;(16):24. Doi: 10.1186/s40644-016-0081-5.
23. Pancieri M. V. C., Cataneo D. C., Montovani J. C., Cataneo A. J. M. Comparison between actual and predicted postoperative stair-climbing test, walk test and spirometric values in patients undergoing lung resection // *Acta cirurgica brasileira, Sociedade Brasileira para Desenvolvimento Pesquisa em Cirurgia*. 2010;25(6):536–540. Doi: 10.1590/S0102-86502010000600014.
24. Kazuhiro U., Masataro H., Nobuyuki T., Toshiaki T., Kimikazu H. Long-term pulmonary function after major lung resection // *Gen Thorac Cardiovasc Surg*. 2014;(62):24–30. Doi: 10.1007/s11748-013-0346-x.
25. Nagamatsu Y., Maeshiro K., Kimura N. Y., Nishi T., Shima I., Yamana H. Long-term recovery of exercise capacity and pulmonary function after lobectomy // *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2007;(134):1273–1278. Doi: 10.1016/j.jtcvs.2007.06.025.
26. Funakoshi Y., Takeda S., Sawabata N., Okumura Y., Maeda H. Long-term pulmonary function after lobectomy for primary lung cancer // *Asian Cardiovasc Thorac Ann*. 2005;(13):311–315. Doi: 10.1177/021849230501300404.
27. Sietske A., Smulders M. D., Frank W. J. M., Smeenk M. D. Actual and predicted Postoperative Changes in Lung Function After Pneumonectomy // *Chest*. 2004;(125):1735–1741. Doi: 10.1378/chest.125.5.1735.
28. Park C. H., Kim T. H., Lee S., Paik H. C., Haam S. J. New predictive equation for lung volume using chest computed tomography for size matching in lung transplantation // *Transplant Proc*. 2015;(47):498–503. Doi: 10.1016/j.transproceed.2014.12.025.
29. Esteban P. A., Hernández N., Novoa N. M., Varela G. Evaluating patients walking capacity during hospitalization for lung cancer resection // *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2017;25(2):268–271. Doi: 10.1093/icvts/ivx100.
30. Akopov A. L., Gorbunkov S. D., Romanikhin A. I., Kovalev M. G. Otbor patsientov s soputstvuyushei hronicheskoi obstruktivnoi boleznju dlya provedeniya anatomicheskikh rezekcii pri rake legkogo (obzor literaturi) // *Grekov's Bulletin of Surgery*. 2019;178(5):121–126. Doi: 10.24884/0042-4625-2019-178-5-121-126. (In Russ.).
31. Kazuhiro U., Masataro H., Nobuyuki T., Toshiaki T., Kimikazu H. Long-term pulmonary function after major lung resection // *Gen Thorac Cardiovasc Surg*. 2014;(62):24–30. Doi: 10.1007/s11748-013-0346-x.
32. Bolliger C. T., Jordan P., Sole'r M., Stulz P., Tamm M., Wyser C. Pulmonary function and exercise capacity after lung resection // *Eur Respir J*. 1996;(9):415–421. Doi: 10.1183/09031936.96.09030415.
33. Wang J. S., Abboud R. T., Wang L. M. Effect of lung resection on exercise capacity and on carbon monoxide diffusing capacity during exercise // *Chest*. 2006;(129):863–872. Doi: 10.1378/chest.129.4.863.
34. Okada M., Koike T., Higashiyama M., Yamato Y., Kodama K., Tsubota N. Radical sublobar resection for small-sized non-small cell lung cancer: a multicenter study // *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2006;(132):769–775. Doi: 10.1016/j.jtcvs.2006.02.063.
35. Saito H., Nakagawa T., Ito M. Pulmonary Function After Lobectomy Versus Segmentectomy in Patients with Stage I Non-Small Cell Lung Cancer // *World J Surg*. 2014;(38):2025–2031. Doi: 10.1007/s00268-014-2521-3.
36. Harada H., Okada M., Sakamoto T., Matsuoka H., Tsubota N. Functional advantage after radical segmentectomy versus lobectomy for lung cancer // *Ann Thorac Surg*. 2005;(80):2041–2045. Doi: 10.1016/j.athoracsur.2005.06.010.
37. Ueda K., Tanaka T., Hayashi M., Li T.S., Tanaka N., Hamano K.; Computed tomography-defined functional lung volume after segmentectomy versus

- lobectomy // *Eur J Cardiothorac Surg*. 2010;(37):1433–1437. Doi: 10.1016/j.ejcts.2010.01.002.
38. Nomori H., Shiraishi A., Cong Y., Sugimura H., Mishima S. Differences in postoperative changes in pulmonary functions following segmentectomy compared with lobectomy // *Eur J Cardiothorac Surg*. 2018;53(3):640–647. Doi: 10.1093/ejcts/ezx357.
 39. Bertolaccini L., Solli P. Should Segmentectomy Rather Than Lobectomy Be the Operation of Choice for Early-Stage Non-small Cell Lung Cancer // *Chest*. 2018;153(3):592–595. Doi: 10.1016/j.chest.2017.10.038.
 40. Suzuki H., Morimoto J., Mizobuchi T., Fujiwara T., Nagato K., Nakajima T., Iwata T., Yoshida S., Yoshino I. Does segmentectomy really preserve the pulmonary function better than lobectomy for patients with early-stage lung cancer // *Surg Today*. 2017;47(4):463–469. Doi: 10.1007/s00595-016-1387-4.
 41. Andersson S. E., Rauma V. H., Sihvo E. I. Bronchial sleeve resection or pneumonectomy for non-small cell lung cancer: a propensity-matched analysis of long-term results, survival and quality of life // *J Thorac Dis*. 2015;(7):1742–1748. Doi: 10.3978/j.issn.2072-1439.2015.10.62.
 42. Bylicki O., Vandemoortele T., Orsini B., Laroumagne S., D'Journo X.B., Astoul P., Thomas P.A., Dutau H. Incidence and management of anastomotic complications after bronchial resection: a retrospective study // *Ann Thorac Surg*. 2014;98(6):1961–1967. Doi: 10.1016/j.athoracsur.2014.07.021.
 43. Yatsuyanagi E., Hirata S., Yamazaki K., Sasajima T., Kubo Y. Anastomotic Complications After Bronchoplastic Procedures for Nonsmall Cell Lung Cancer // *Ann Thorac Surg*. 2000;(70):396–400. Doi: 10.1016/S0003-4975(00)01556-3.
 44. Perentes J., Bopp S., Krueger T., Gonzalez M., Jayet P. Y., Lovis A. Impact of lung function changes after induction radiochemotherapy on resected T4 non-small cell lung cancer outcome // *Ann Thorac Surg*. 2012;(94):1815–1822. Doi: 10.1016/j.athoracsur.2012.08.054.
 45. Nomori H., Shiraishi A., Cong Y., Shoji K., Misawa M., Sugimura H., Oyama Y. Impact of induction chemoradiotherapy on pulmonary function after lobectomy for lung cancer // *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2018;155(5):2129–2137. Doi: 10.1016/j.jtcvs.2017.12.081.
 46. Sekine Y., Iwata T., Chiyo M., Yasufuku K., Motohashi S., Yoshida S.; Minimal alteration of pulmonary function after lobectomy in lung cancer patients with chronic obstructive pulmonary disease // *Ann Thorac Surg*. 2003;(76):356–361. Doi: 10.1016/S0003-4975(03)00489-2.
 47. Korst R. J., Ginsberg R. J., Ailawadi M., Bains M. S., Downey R. J. Jr., Rusch V. W. Lobectomy improves ventilatory function in selected patients with severe COPD // *Ann Thorac Surg*. 1998;(66):898–902. Doi: 10.1016/S0003-4975(98)00697-3.
 48. Yablonskii P. K., Petrunin A. M., Nikolaev G. V., Mosin I. V. Изменение функциональной способности легких после лобэктомии у больных с сопутствующей хронической обструктивной болезнью легких // *Греков's Bulletin of Surgery*. 2009;(168):26–30. (In Russ.).
 49. Ueda K., Tanaka T., Hayashi M., Tanaka N., Li T. S., Hamano K. Clinical ramifications of bronchial kink after upper lobectomy // *Ann Thorac Surg*. 2012;(93):259–265. Doi: 10.1016/j.athoracsur.2011.08.065.
 50. Sengul A. T., Sahin B., Celenk C., Basoglu A. Postoperative lung volume change depending on the resected lobe // *Thorac Cardiovasc Surg*. 2013;(61):131–137. Doi: 10.1055/s-0032-1322625.
 51. Endoh H., Tanaka S., Yajima T., Ito T., Tajima K., Mogi A.; Pulmonary function after pulmonary resection by posterior thoracotomy, anterior thoracotomy or video-assisted surgery // *Eur J Cardiothorac Surg*. 2010;(37):1209–1214. Doi: 10.1016/j.ejcts.2009.11.016.
 52. Kaseda S., Aoki T., Hangai N., Shimizu K. Better pulmonary function and prognosis with video-assisted thoracic surgery than with thoracotomy // *Ann Thorac Surg*. 2000;(70):1644–1646. Doi: 10.1016/S0003-4975(00)01909-3.
 53. Kim S. J., Ahn S., Lee Y. J., Park J. S., Cho Y. J., Cho S., Yoon H. I., Kim K., Lee J. H., Jheon S., Lee C. T. Factors associated with preserved pulmonary function in non-small-cell lung cancer patients after video-assisted thoracic surgery // *Eur J Cardiothorac Surg*. 2016;49(4):1084–1090. Doi: 10.1093/ejcts/ezv325.
 54. Hsia C. C., Herazo L. F., Fryder-Doffey F., Weibel E. R. Compensatory lung growth occurs in adult dogs after right pneumonectomy // *J Clin Invest*. 1994;(94):405–412. Doi: 10.1172/JCI117337.
 55. Butler J. P., Loring S. H., Patz S., Tsuda A., Yablonskiy D. A., Mentzer S. J. Evidence for adult lung growth in humans // *N Engl J Med*. 2012;(367):244–247. Doi: 10.1056/NEJMoa1203983.
 56. Macare van Maurik A. F., Stubenitsky B. M., Swieten H. A., Duurkens V. A., Laban E., Kon M.; Use of tissue expanders in adult postpneumonectomy syndrome // *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2007;(134):608–612. Doi: 10.1016/j.jtcvs.2007.05.014.
 57. Hsia C. C., Wu E. Y., Wagner E., Weibel E. R. Preventing mediastinal shift after pneumonectomy impairs regenerative alveolar tissue growth // *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol*. 2001;(281):1279–87. Doi: 10.1152/ajplung.2001.281.5.L1279.

Информация об авторах:

Акопов Андрей Леонидович, доктор медицинских наук, профессор, руководитель отдела торакальной хирургии НИИ хирургии и неотложной медицины, Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И. П. Павлова (Санкт-Петербург, Россия), ORCID: 0000-0001-8698-7018; **Черный Семён Миронович**, доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник отдела торакальной хирургии НИИ хирургии и неотложной медицины, Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И. П. Павлова (Санкт-Петербург, Россия), ORCID: 0000-0001-6266-8696; **Мишра Радеш Прадипович**, аспирант кафедры госпитальной хирургии № 1, врач – торакальный хирург, Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И. П. Павлова (Санкт-Петербург, Россия), ORCID: 0000-0002-8387-9182; **Ковалев Михаил Генрихович**, кандидат медицинских наук, доцент кафедры анестезиологии и реаниматологии, Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И. П. Павлова (Санкт-Петербург, Россия), ORCID: 0000-0002-0011-3510.

Information about authors:

Akopov Andrey L., Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Thoracic Surgery, Research Institute of Surgery and Emergency Medicine, Pavlov University (Saint Petersburg, Russia), ORCID: 0000-0001-8698-7018; **Cherny Semen M.**, Dr. of Sci. (Med.), Senior Research Fellow of the Department of Thoracic Surgery, Research Institute of Surgery and Emergency Medicine, Pavlov University (Saint Petersburg, Russia), ORCID: 0000-0001-6266-8696; **Mishra Radezh P.**, Postgraduate Student of the Department of Hospital Surgery № 1, Thoracic Surgeon, Pavlov University (Saint Petersburg, Russia), ORCID: 0000-0002-8387-9182; **Kovalev Mikhail G.**, Dr. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Anesthesiology and Resuscitation, Pavlov University (Saint Petersburg, Russia), ORCID: 0000-0002-0011-3510.