

DOI: <https://doi.org/10.17816/psaic2005>

EDN: WJFALA



Предоперационное трёхмерное моделирование для планирования сублобарных резекций лёгких у детей

С.В. Выдыш^{1,2}, О.Г. Топилин^{2,3}, О.В. Пикин^{1,4}, А.В. Чуканова⁵, Ю.Ю. Соколов^{1,2}¹ Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва, Россия;² Морозовская детская городская клиническая больница, Москва, Россия;³ Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова, Москва, Россия;⁴ Национальный медицинский исследовательский центр радиологии, Москва, Россия;⁵ Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. На сегодняшний день к сублобарным резекциям лёгких у детей отнесены краевая (атипичная) резекция и анатомическая сегментэктомия. При этом сегментэктомии применяют значительно реже из-за её технической сложности и отсутствия объективных критериев отбора пациентов. Настоящее исследование направлено на восполнение этого пробела. Авторы оценили, позволяет ли использование индивидуальных 3D-моделей стандартизировать предоперационную оценку анатомии и тем самым обосновать выбор оптимального объёма резекции у пациентов детского возраста.

Цель исследования. Определить влияние предоперационного 3D-моделирования на хирургическую тактику и исходы при мини-инвазивных резекциях лёгких у детей, а также выявить анатомические и клинические предикторы объёма резекции.

Методы. В исследование были включены 32 ребёнка (0–17 лет), перенёсших мини-инвазивную резекцию лёгких по поводу врождённого порока или доброкачественного новообразования (2020–2025 гг.). Пациенты были разделены на группы 3D-моделирования ($n=16$) и стандартного планирования по компьютерной томографии ($n=16$). Оценивали тип резекции, осложнения, время операции и соответствие между планом и выполненной резекцией. Для выявления предикторов объёма резекции применена пошаговая логистическая регрессия. В дополнительном анализе пациенты были разделены по типу резекции — атипичная, сегментэктомия, лобэктомия. Для уточнения алгоритмов хирургического планирования использовали количественные параметры, определённые по 3D-модели, такие как отношение объёма очага к доле, зонирование, число вовлечённых сегментов.

Результаты. 3D-планирование увеличивало вероятность выполнения сегментэктомии (отношение шансов ≈ 25 , $p=0,001$), при этом обеспечивало высокое соответствие между запланированным и выполненным вмешательством и не повышало частоту осложнений. Наиболее значимым количественным предиктором объёма резекции оказалось отношение объёма патологии к доле (оптимальный порог 0,205; AUC=0,922). Тип резекции также зависел от возраста, числа поражённых сегментов и анатомической локализации.

Заключение. 3D-моделирование способствовало более частому выполнению сегментэктомии без увеличения числа осложнений, а отношение объёма патологии к доле и анатомические факторы можно использовать для выбора типа резекции. Учёт количественных 3D-параметров может повысить качество предоперационного планирования при резекциях лёгких у детей.

Ключевые слова: врождённые пороки развития лёгких; доброкачественные новообразования лёгких; торакоскопия; видеоассистированная торакоскопическая хирургия; сублобарная резекция; анатомическая сегментэктомия; 3D-моделирование; дети.

Как цитировать

Выдыш С.В., Топилин О.Г., Пикин О.В., Чуканова А.В., Соколов Ю.Ю. Предоперационное трёхмерное моделирование для планирования сублобарных резекций лёгких у детей // Российский вестник детской хирургии, анестезиологии и реаниматологии. 2026. Т. 16, № 1. С. 5–18. DOI: 10.17816/psaic2005 EDN: WJFALA

DOI: <https://doi.org/10.17816/psaic2005>

EDN: WJFALA

Preoperative Three-Dimensional Modeling for Planning Sublobar Lung Resections in Children

Sofia V. Vydish^{1,2}, Oleg G. Topilin^{2,3}, Oleg V. Pikin^{1,4}, Anna V. Chukanova⁵, Yuriy Yu. Sokolov^{1,2}¹ Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia;² Morozovskaya Children's City Clinical Hospital, Moscow, Russia;³ Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia;⁴ National Medical Research Center of Radiology, Moscow, Russia;⁵ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Sublobar lung resections in children include wedge (nonanatomic) resection and anatomic segmentectomy. Segmentectomy is used less frequently due to its technical complexity and the lack of objective patient selection criteria. This study aims to address this gap. The authors evaluated whether patient-specific 3D models can standardize preoperative anatomical assessment and thereby support selection of the optimal extent of resection in pediatric patients.

AIM: This study aimed to determine the impact of preoperative 3D modeling on surgical strategy and outcomes in minimally invasive lung resections in children and to identify anatomical and clinical predictors of the extent of resection.

METHODS: The study included 32 children (0–17 years) who underwent minimally invasive lung resection for congenital malformations or benign neoplasms (2020–2025). Patients were divided into a 3D modeling group ($n = 16$) and a standard computed tomography–based planning group ($n = 16$). Outcomes assessed included type of resection, complications, operative time, and concordance between planned and performed resection. Stepwise logistic regression was used to identify predictors of the extent of resection. In an additional analysis, patients were stratified by type of resection (wedge resection, segmentectomy, lobectomy). Quantitative parameters derived from 3D models—such as lesion-to-lobe volume ratio, zoning, and number of involved segments—were used to refine surgical planning algorithms.

RESULTS: 3D-based planning significantly increased the likelihood of performing segmentectomy (odds ratio ≈ 25 ; $p = 0.001$), while maintaining high concordance between planned and performed procedures without increasing complication rates. The most significant quantitative predictor of resection extent was the lesion-to-lobe volume ratio (optimal threshold 0.205; AUC = 0.922). The type of resection was also associated with age, number of affected segments, and anatomical location.

CONCLUSION: 3D modeling facilitated more frequent use of segmentectomy without increasing complications. The lesion-to-lobe volume ratio and anatomical factors may be used to guide selection of resection type. Incorporation of quantitative 3D parameters may improve the quality of preoperative planning in pediatric lung resections.

Keywords: congenital lung malformations; benign lung neoplasms; thoracoscopy; video-assisted thoracoscopic surgery; sublobar resection; anatomic segmentectomy; 3D modeling; children.

To cite this article

Vydish SV, Topilin OG, Pikin OV, Chukanova AV, Sokolov YuYu. Preoperative Three-Dimensional Modeling for Planning Sublobar Lung Resections in Children. *Russian Journal of Pediatric Surgery, Anesthesia and Intensive Care*. 2026;16(1):5–18. DOI: 10.17816/psaic2005 EDN: WJFALA

DOI: <https://doi.org/10.17816/psaic2005>

EDN: WJFALA

儿童肺亚肺叶切除术前三维建模规划

Sofia V. Vydish^{1,2}, Oleg G. Topilin^{2,3}, Oleg V. Pikin^{1,4}, Anna V. Chukanova⁵, Yuriy Yu. Sokolov^{1,2}¹ Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia;² Morozovskaya Children's City Clinical Hospital, Moscow, Russia;³ Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia;⁴ National Medical Research Center of Radiology, Moscow, Russia;⁵ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

摘要

论证。目前在小儿肺部手术中，边缘性（非典型）切除术和解剖性肺段切除术被归为肺亚肺叶切除术范畴。然而，由于肺段切除术技术难度较高且缺乏客观的患者筛选标准，其应用频率显著偏低。本研究旨在填补这一空白。作者评估了采用个体化3D模型技术能否标准化术前解剖结构评估，从而为儿科患者确定最佳切除范围提供依据。

目的。评估术前三维建模对儿童微创肺切除术中手术策略及预后的影响，并识别影响切除范围的解剖学与临床预测因素。

方法。本研究纳入了32名（0-17岁）因先天性肺病或良性肿瘤接受微创肺切除术的儿童（2020-2025年）。患者被分为三维重建规划组（n=16）和常规CT规划组（n=16）。评估指标包括切除方式、并发症、手术时间以及规划与实施切除的吻合度。采用逐步逻辑回归分析识别切除范围的预测因子。在附加分析中，按切除类型（非典型切除、肺段切除、肺叶切除）对患者进行分组。利用三维模型确定的量化参数优化手术规划算法，包括病灶体积与肺叶体积比、区域分布特征及受累肺段数量。

结果。 研究结果显示：三维规划使肺段切除实施概率显著提升（优势比 ≈ 25 , $p=0.001$ ），在确保规划与实施高度吻合的同时未增加并发症发生率。病灶体积与肺叶体积比是切除范围的最显著量化预测因子（最佳临界值0.205；AUC=0.922）。切除方式同时还受年龄、受累肺段数量和解剖定位等因素影响。

结论。 三维建模技术促进了更频繁实施肺段切除术，且未增加并发症发生率；同时，病灶体积与肺叶体积比及解剖学因素可作为选择切除术式的依据。考虑量化3D参数可提高儿童肺切除手术术前规划的质量。

关键词：先天性肺发育畸形；肺良性肿瘤；胸腔镜手术；视频辅助胸腔镜外科；肺段以下切除；解剖性肺段切除；三维重建技术；儿童群体。

引用本文

Vydish SV, Topilin OG, Pikin OV, Chukanova AV, Sokolov YuYu. 儿童肺亚肺叶切除术前三维建模规划. *Russian Journal of Pediatric Surgery, Anesthesia and Intensive Care*. 2026;16(1):5-18. DOI: 10.17816/psaic2005 EDN: WJFALA

收到: 11.02.2026

接受: 25.02.2026

发布日期: 30.03.2026

ОБОСНОВАНИЕ

Врождённые аномалии лёгких и доброкачественные новообразования у детей нередко требуют хирургического лечения [1–4]. Клиническая цель вмешательства заключается в полном удалении патологического очага с отрицательным краем резекции при максимальном сохранении функционально интактной паренхимы лёгкого [4]. Длительное время при периферическом расположении патологии стандартом считали атипичную резекцию, а при глубоко расположенных поражениях — лобэктомию [5, 6]. Однако с развитием мини-инвазивных технологий и возможностей 3D-визуализации всё больший интерес вызывает выполнение более сложных паренхимосберегающих вмешательств [7–9]. А именно — анатомических сублобарных резекций лёгкого, которые заключаются в удалении одного или нескольких поражённых сегментов доли и сохранении интактных сегментов доли лёгкого [7, 10].

Анатомические сегментэктомии — наиболее сложные резекции лёгких, в связи с необходимостью выделения сегментарных артерий, вен и бронхов. Сегментарные структуры обладают анатомической вариабельностью, а распознавание этих особенностей по конвенциональной компьютерной томограмме (КТ) без построения трёхмерной модели затруднено [9]. Детский возраст пациентов также осложняет распознавание сегментарных структур в связи с их малыми размерами [11]. Несмотря на свою техническую сложность, анатомическая сегментэктомия обладает преимуществом перед атипичной (клиновидной) резекцией лёгкого, которая также является разновидностью сублобарной резекции. При помощи сегментэктомии возможно удаление глубоко расположенных образований. Поскольку резекцию осуществляют по анатомическим ориентирам межсегментарных границ, интраоперационная видимость границ патологического очага необязательна.

На настоящий момент не существует общепринятого алгоритма выбора между атипичной резекцией, анатомической сегментэктомией и лобэктимией при планировании резекции лёгкого у детей с врождённой патологией или образованием лёгкого. Выбор целиком зависит от предпочтений и опыта хирурга. Все три типа резекции можно считать оправданными при условии полного удаления патологического очага, хотя в некоторых случаях количество удаляемой интактной паренхимы доли может значительно отличаться.

Цель исследования

Определить влияние предоперационного 3D-моделирования на хирургическую тактику и исходы при мини-инвазивных резекциях лёгких у детей, а также выявить анатомические и клинические предикторы объёма резекции.

МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено ретроспективное одноцентровое когортное исследование. На первом этапе было выполнено сравнение двух групп пациентов, сформированных в зависимости от наличия или отсутствия предоперационной 3D-визуализации. На втором этапе всем пациентам была выполнена 3D-визуализация с целью выявления факторов, которые могут служить ориентиром для выбора предпочтительного типа хирургического вмешательства в каждом конкретном случае.

Условия проведения исследования

Исследование проведено в Морозовской детской городской клинической больнице г. Москвы. Источники информации: медицинская документация стационара и архив предоперационных исследований. Все операции были выполнены в период с марта 2020 г. по март 2025 г. одной командой детских хирургов отделения торакальной хирургии. У всех пациентов собраны демографические, клинические и предоперационные данные, а также сведения об операции и послеоперационных исходах. Оценка исходов проведена по данным интраоперационного протокола и раннего послеоперационного периода.

Критерии соответствия (отбора)

Критерии включения: возраст пациентов от 0 месяцев жизни до 17 лет, наличие диагностированного врождённого порока развития лёгких или доброкачественного новообразования лёгких, ограниченных одной лёгочной долей. Проведённое плановое хирургическое вмешательство в 2020–2025 гг.

Критерии невключения: экстренные вмешательства, злокачественные опухоли, буллёзная болезнь лёгких, паразитарные или инфекционные поражения лёгких, неотчётливые воспалительные заболевания лёгких, вовлечение более одной доли слева или более двух долей справа.

Критерии исключения: недоступность исходных данных предоперационной КТ в формате, пригодном для обработки.

Описание критериев соответствия

Критерием формирования выборки было наличие показаний к резекции лёгкого по поводу врождённой патологии лёгкого или доброкачественного образования, ограниченного одной долей, при наличии предоперационной контрастной КТ, позволяющей выполнить стандартную оценку (2D) и/или 3D-реконструкцию.

Подбор участников в группы

Распределение по группам определялось применяемым в клинической практике типом предоперационного планирования (конвенциональная 2D-КТ против 3D-визуализации).

Целевые показатели исследования

Основной показатель исследования

В качестве основных целевых показателей были определены: тип выполненной резекции (сублобарная резекция/лобэктомия, для сублобарных — анатомическая сегментэктомия или атипичная резекция), точность предоперационного планирования (соответствие предоперационно определённого объёма резекции и анатомических ориентиров фактически выполненному вмешательству по данным операционного протокола), частота интраоперационных и послеоперационных осложнений (наличие/отсутствие и вид осложнения по данным медицинской документации), продолжительность операции, длительность дренирования плевральной полости, длительность госпитализации после оперативного вмешательства.

Дополнительные показатели исследования

Второй этап исследования включал следующие целевые показатели: возраст пациента, число анатомических сегментов, вовлечённых в патологический процесс, относительный объём поражения (*lesion-to-lobe ratio*, LLR), локализация патологии (левое/правое лёгкое) и внутридолевая зональность (периферия/центр/ворота), а также тип патологии.

Методы измерения целевых показателей

Все целевые показатели определены ретроспективно на основании медицинской документации (протокол операции, описания исследований, выписной эпикриз, гистологическое заключение) и данных трёхмерных моделей.

Трёхмерное моделирование. Для создания детализированных 3D-реконструкций поражённого лёгкого

Таблица 1. Сводная характеристика применённых авторами методов сегментации и зонирования лёгких по данным компьютерной томографии: последовательность этапов обработки и программные инструменты, использованные для построения 3D-моделей

Table 1. Summary of segmentation and lung zoning methods used by the authors based on computed tomography data: processing pipeline steps and software tools employed for 3D model reconstruction

Анатомическая структура	Главный модуль сегментации	Основной процесс	Исправления вручную	Метод зонирования
Доля лёгкого	<i>Total segmentator</i> . Segmentation task: total, Scissors	Автоматически ≈5–10 мин	«Scissors» можно использовать для ручной обработки, когда доли выходят за пределы междолевых щелей	Создайте центральную и периферическую зоны, уменьшив сегмент доли до объёма, равного примерно 2/3 от исходного (то есть удалив примерно 1/3). Уменьшенный сегмент определяет центральную зону; внешняя часть исходной доли становится периферической зоной (исходная доля минус центральная)
Трахея и бронхи	<i>Total segmentator</i> . Segmentation task: lung vessels, Draw tube, Scissors	Автоматически ≈5–10 мин	Сегментарные ветви можно точно удлинять вручную с помощью функции «Draw tube»: разместите центральную линию вдоль предполагаемого пути и установите соответствующий радиус, чтобы добавить трубчатое удлинение к текущему сегменту	
Сосуды лёгкого	MONAI Auto3DSeg artificial intelligence model: Segmentation model: Lungs Threshold, Logical operators, Scissors	Полуавтоматически ≈30 мин	«Автоматически сегментированные артерии и вены» полезны для различения вен и артерий при применении «Threshold»: используйте их в качестве эталона, чтобы отделить артерии от вен при схожих значениях Hounsfield units	С помощью «ножниц» обрежьте артерии и вены в местах разветвления на сегментарные ветви. Затем увеличьте эти сегменты на 0,5–1,0 см; объединение этих сегментов внутри паренхимы доли будет искомым зоной hilarной области
Патология	Threshold, Draw, Level tracing, Fill between the slices.	Полуавтоматически ≈5–10 мин	С помощью инструмента «Draw» очертите цель на соответствующих срезах, затем примените инструмент «Fill between the slices» для непрерывной сегментации. Наконец, используйте инструмент для расширения сегмента и определения предпочтительных краёв резекции	
Сегменты доли	Eraser (flat), Scissors	Вручную ≈ 30 мин	Определите подходящую плоскость на компьютерной томограмме на основе ориентации сегментарных вен, артерий и бронхов. Затем используйте функцию «Erase» вдоль этой плоскости, чтобы разрезать ранее сегментированную долю лёгкого на сегменты	

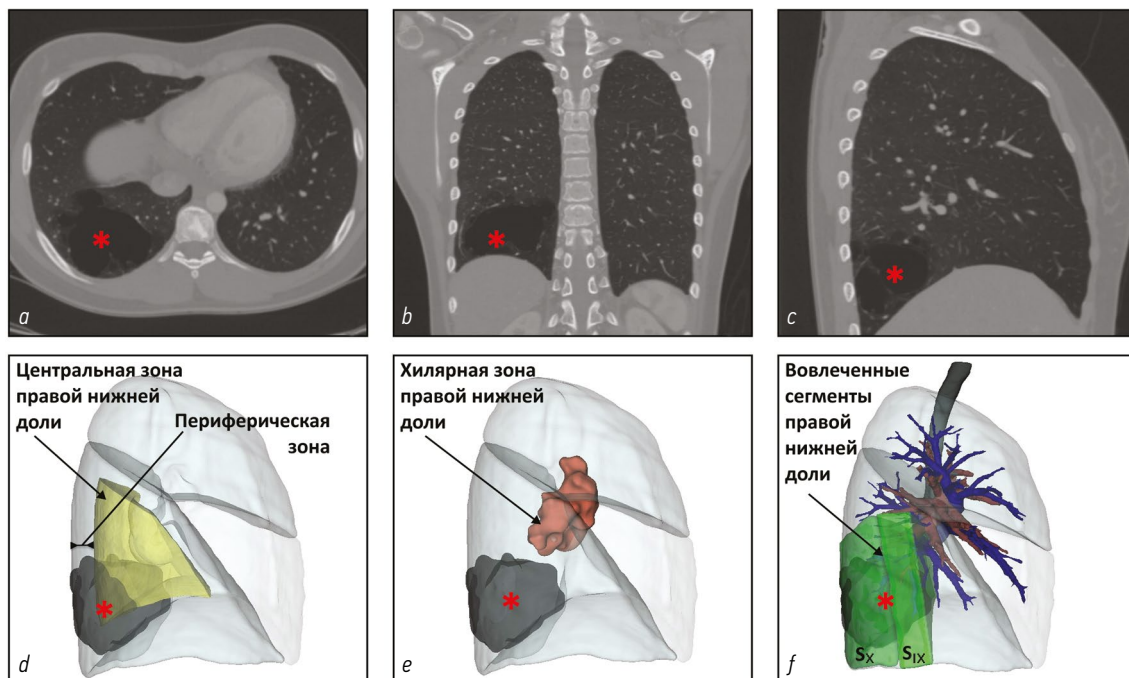


Рис. 1. Метод определения зон доли при патологии в нижней доле правого лёгкого: *a–c* — ортогональные срезы компьютерной томографии (аксиальный, корональный, сагиттальный), очаг отмечен красной звёздочкой; *d* — центральная зона правой нижней доли (жёлтая) и периферическая зона в пределах полупрозрачной 3D-модели лёгкого; *e* — hilarная зона (коричневая); *f* — сегментарное картирование очага: вовлечённые сегменты $S_{IX}–S_X$ (зелёные) с отображением сосудисто-бронхиального дерева (артерии — красные, вены — синие, бронхи — серые). Последовательность иллюстрирует рабочий процесс: компьютерная томография — локализация, зонирование (hilarная/центральная/периферическая зоны), сегментарное картирование для планирования сублобарной резекции. В данном клиническом случае патология (кистозно-аденоматозная мальформация) располагается в периферической и центральной зонах.

Fig. 1. Method for defining lobar zones in pathology of the right lower lobe: *a–c*, orthogonal computed tomography slices (axial, coronal, sagittal), lesion marked with a red asterisk; *d*, central zone of the right lower lobe (yellow) and peripheral zone within a semitransparent 3D lung model; *e*, hilar zone (brown); *f*, segmental mapping of the lesion: involved segments $S_{IX}–S_X$ (green) with visualization of the bronchovascular tree (red refers to arteries, blue refers to veins, gray refers to bronchi). The sequence illustrates the workflow: computed tomography—based localization, zoning (hilar/central/peripheral), and segmental mapping for planning sublobar resection. In this clinical case, the condition (congenital pulmonary airway malformation) is located in the peripheral and central zones.

и патологического очага у каждого пациента данные КТ с внутривенным контрастным усилением (толщина среза 0,6–1,25 мм, артериальная фаза) были экспортированы в формате DICOM в программу 3D Slicer (v 5.6.1; <https://www.slicer.org>). Для сегментации использовали расширение TotalSegmentator и модуль MONAI auto3Dseg в сочетании с полуавтоматическим рабочим процессом, который включал встроенные алгоритмы роста областей и пороговой сегментации с последующей ручной корректировкой для выделения лёгочных артерий, вен, бронхов, контуров очага или порока развития. В табл. 1 приведены основные инструменты, использованные авторами для сегментации анатомических структур, а также методика деления доли лёгкого на сегменты, а также способ деления лёгочной доли на зоны (периферическая, центральная и hilarная). Метод зонирования предложен авторами для стандартизации записи пространственной локализации патологии в пределах 3D-реконструированной доли и введён ретроспективно.

Деление на зоны основано на уровнях ветвления долевых, сегментарных и субсегментарных сосудистых структур. На рис. 1 представлена модель нижней доли

с кистозно-аденоматозной мальформацией, разделённая на три концентрические зоны указанным способом. Hilarная зона, прилегающая к корню лёгкого, включает долевые сосуды и бронхи до их деления на сегментарные ветви. Центральная зона — среднепаренхиматозная часть, содержащая сегментарные ветви сосудов. Периферическая зона прилежит к плевральной поверхности, включает только субсегментарные и более мелкие ветви и составляющая приблизительно треть объёма долевой паренхимы. Локализацию патологии фиксировали в соответствии с указанными зонами. Затем полученные сегментации преобразовывали в интерактивные 3D-поверхностные модели, которые можно масштабировать, вращать, скрывать или делать прозрачными для визуализации внутренней васкуляризации, детального изучения отдельных структур и планирования операции.

Расчёт объёма поражения. Объём поражения определяли по полуавтоматическому методу, описанному также в работе W. Yang и соавт. [12]. Границы патологии вручную обводили на аксиальных срезах через каждые три-пять срезов, после чего алгоритм линейной интерполяции строил контуры для промежуточных срезов. Для кистозных

образований применяли инструмент Threshold. В результате вычисляли абсолютный объём патологии с помощью модуля Segment statistics. Дополнительно рассчитывали объём поражённой доли, что позволяло вычислить отношение объёма патологии к объёму доли (lesion to lobe ratio — LLR), отражающее относительный размер очага.

Планирование операции. В группе 3D оперативное вмешательство планировали на основании построенной 3D-модели. Проведена комплексная оценка размеров и локализации патологического очага, наличия интактной паренхимы, а также взаиморасположения очага и крупных сосудов. На рис. 2 представлена модель образования в верхней доле левого лёгкого, размеры и локализация которого являются благоприятными для выбора клиновидной резекции.

При более глубокой локализации патологического очага (рис. 3) в пределах одного или нескольких сегментов оценивали особенности ветвления сегментарных сосудов и прохождения межсегментарных плоскостей, что позволяло подтвердить или исключить возможность выполнения сегментэктомии, а также использовать построенную модель для интраоперационной навигации.

Хирургическая техника. Все резекции выполняли торакоскопически, стандартной торакоскопией или VATS.

Атипичная резекция произведена швизающим аппаратом клиновидно при визуальном контроле границ патологии, анатомическая сегментэктомия включала обязательное поэтапное выделение и лигирование сегментарных вен, артерий и бронхов удаляемых сегментов с рассечением паренхимы по межсегментарным плоскостям, лобэктомия выполнена стандартно с поэтапным лигированием лобарных сосудов и бронха.

Лёгочная вентиляция и карбокситоракс. Однолёгочная вентиляция осуществлена с помощью установки эндобронхиального блокатора *Cook Arndt* (США) под контролем бронхоскопии. У детей старше 15 лет использовали двухпросветную эндотрахеальную трубку. У младенцев (до 3 лет), когда установка блокатора была невозможна, создавали карбокситоракс с поддержанием внутриплеврального давления 4–6 мм рт. ст. и потоком 1 л/мин.

Интраоперационная диссекция и извлечение препарата. Доступ к сосудисто-бронхиальным структурам осуществляли при помощи биполярного коагулятора *LigaSure* (США). Лигирование крупных сосудов и бронхов обеспечивали клипсами *Hem-o-lok* (США) или швизающими аппаратами *EndoGIA* (США) 30 и 45 мм. Разделение паренхимы также выполняли эндоскопическими швизающими аппаратами. Резецированный препарат извлекали

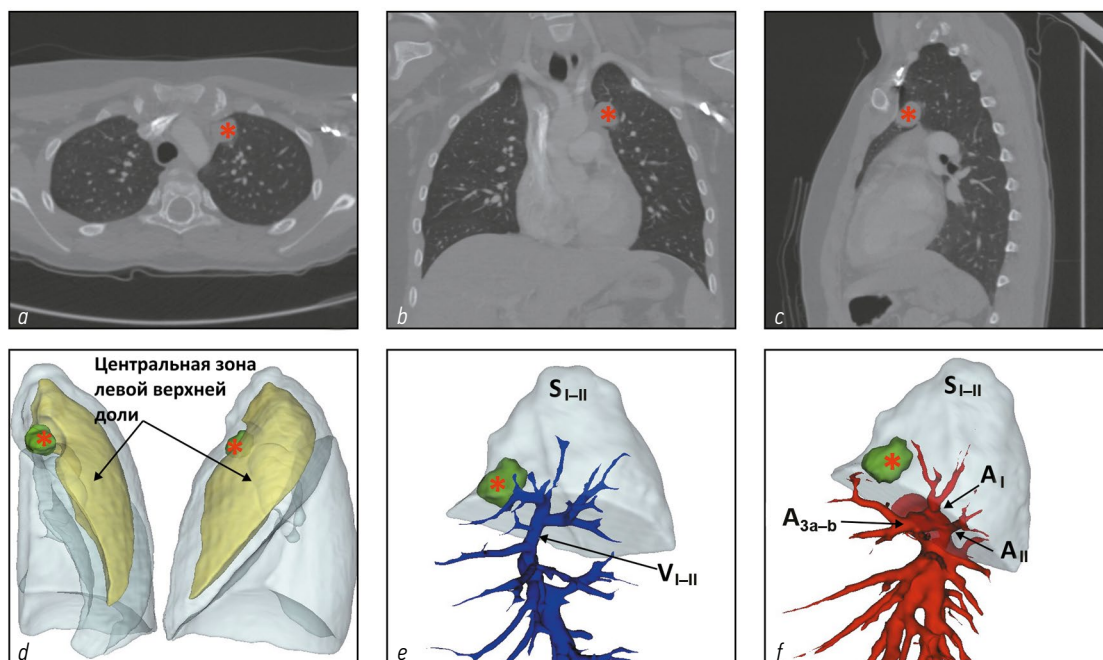


Рис. 2. Пример периферической локализации патологии в верхней доле левого лёгкого, позволяющей выполнить краевую резекцию: *a–c* — ортогональные срезы компьютерной томографии, очаг отмечен красной звёздочкой; *d* — 3D-зонирование: центральная зона верхней доли левого лёгкого показана жёлтым цветом, очаг (зелёный) расположен вне её — в пределах периферической зоны; *e* — венозная карта: ствол V_{I-II} проходит медиально, сегментарные ветви через очаг не проходят; *f* — артериальная карта: A_I , A_{II} и A_{IIIa-b} остаются проксимально без вовлечения; очаг субплевральный. Периферическое расположение и отсутствие охвата сегментарными сосудисто-бронхиальными структурами обусловили выбор краевой резекции вместо сегментэктомии S_{I-II} .

Fig. 2. Example of peripheral localization of pathology in the left upper lobe enabling wedge resection: *a–c*, orthogonal computed tomography slices, lesion marked with a red asterisk; *d*, 3D zoning: central zone of the left upper lobe (yellow), lesion (green) located outside it within the peripheral zone; *e*, venous map: trunk V_{I-II} runs medially, with no segmental branches crossing the lesion; *f*, arterial map: A_I , A_{II} , and A_{IIIa-b} remain proximal without involvement; lesion is subpleural. Peripheral location and absence of involvement of segmental bronchovascular structures determined the choice of wedge resection instead of segmentectomy S_{I-II} .

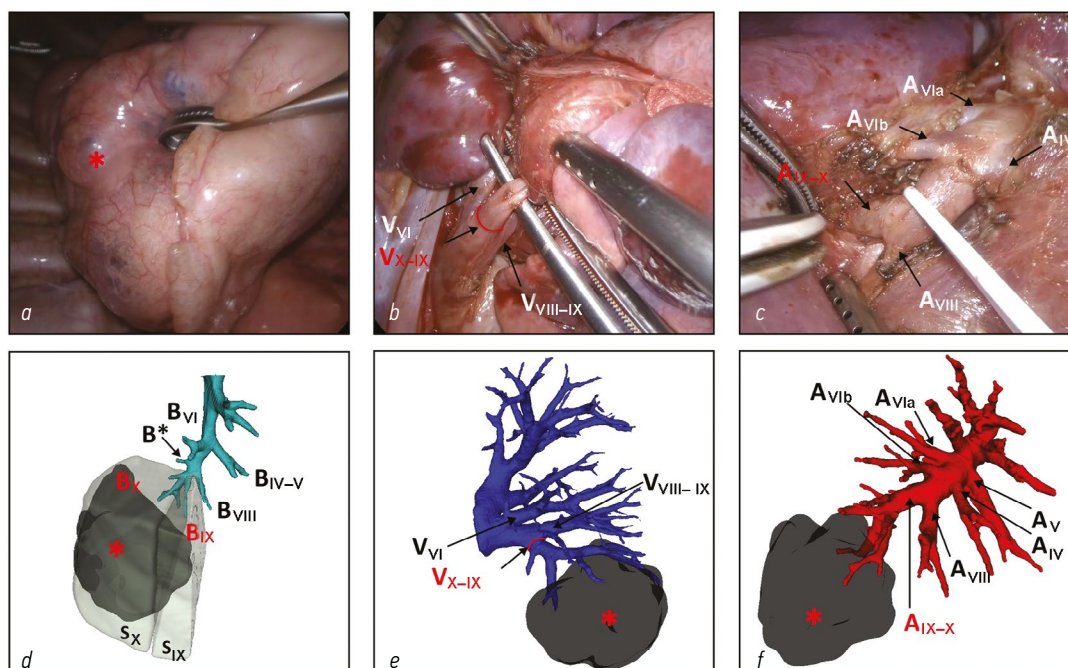


Рис. 3. Детальное планирование сегментэктомии при кистозно-аденоматозной мальформации в правой нижней доле: *a* — интраоперационный вид мальформации; *b* — разделение нижней базальной вены на сегментарные ветви (V_{VI} , $V_{VIII-IX}$, V_{X-IX}); *c* — разделение междоловой (фиссуральной) артерии с идентификацией сегментарных ветвей (A_{VIa} , A_{VIb} , A_{VIII} , A_{IX-X}); *d* — трёхмерная модель бронхов с обозначенными ветвями (B_{VI} , B_{IV-V} , B_{VIII} , B_{IX} , B_X и добавочная B^*) и вовлечёнными сегментами S_{IX-S_X} ; *e* — венозная модель (V_{VI} , $V_{VIII-IX}$, V_{X-IX}) с полупрозрачной кистозно-аденоматозной мальформацией; *f* — артериальная модель (A_{VIa} , A_{VIb} , A_{VIII} , A_{IX-X} , A_{IV} , A_V). Трёхмерные карты отражают оперативную анатомию и служат ориентиром при выполнении базальной бисегментэктомии S_{IX-S_X} . Тот же клинический случай, что и на рис. 1.

Fig. 3. Detailed planning of segmentectomy for congenital pulmonary airway malformation in the right lower lobe: *a*, intraoperative view of the malformation; *b*, division of the inferior basal vein into segmental branches (V_{VI} , $V_{VIII-IX}$, V_{X-IX}); *c*, division of the interlobar (fissural) artery with identification of segmental branches (A_{VIa} , A_{VIb} , A_{VIII} , A_{IX-X}); *d*, three-dimensional bronchial model with labeled branches (B_{VI} , B_{IV-V} , B_{VIII} , B_{IX} , B_X and accessory B^*) and involved segments S_{IX-S_X} ; *e*, venous model (V_{VI} , $V_{VIII-IX}$, V_{X-IX}) with semitransparent malformation; *f*, arterial model (A_{VIa} , A_{VIb} , A_{VIII} , A_{IX-X} , A_{IV} , A_V). The three-dimensional maps reflect operative anatomy and serve as guidance for basal bisegmentectomy S_{IX-S_X} . Same clinical case as in Fig. 1.

через расширенный портовый разрез. В завершение устанавливали силиконовый плевральный дренаж в проекцию верхушки плевральной полости, после чего выполняли ушивание раны.

Статистические процедуры

Статистический анализ выполняли в IBM SPSS Statistics v27.0 (IBM Corp., Armonk, NY, США). Количественные данные представлены в виде медианы и 25-го и 75-го перцентилей (Me [Q_1 ; Q_3]) и min-max, категориальные — как n (%). Для сравнения групп использовали критерий Манна-Уитни (количественные показатели), χ^2 -критерий или точный критерий Фишера. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$. Факторы, ассоциированные с выполнением типа операции, оценивали с помощью бинарной логистической регрессии, значимость предикторов определяли по критерию Вальда, результаты приводили как отношение шансов (OR)= $\exp(B)$ с 95% доверительным интервалом (ДИ) и p -значениями. Дискриминационную способность предикторов/модели оценивали ROC-анализом с расчётом AUC, при необходимости рассчитывали чувствительность, специфичность и точность для выбранного порога. Для оценки зависимости типа операции (упорядоченная

категориальная переменная) от относительного объёма патологии применяли ординальную логистическую регрессию (оценка порогов/thresholds). Пропущенные данные не имитировали.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Формирование выборки

В первый этап анализа включены 32 пациента, распределённые на две группы: 3D-планирование ($n=1$) и стандартное планирование по 2D-КТ ($n=16$). Для ключевых конечных точек (интраоперационные события, ранние послеоперационные осложнения, длительность госпитализации и дренирования) пропущенных значений по исходам не зарегистрировано.

На втором этапе анализа из исследования были исключены 4 пациента в связи с недоступностью исходных КТ-данных на момент обработки. На основании исходных КТ были выполнены недостающие 3D-модели. Для каждого пациента ($n=28$) были определены объём патологического очага, объём доли, локализация патологии в пределах доли по зонам, количество вовлечённых сегментов, принадлежность к возрастной группе (до 3 лет, 3–8 лет и старше 8 лет), а также принадлежность к группе

сублобарных резекций, лобэктомии, атипичной резекции или сегментэктомии. На данном этапе проведён анализ параметров, потенциально влияющих на выбор типа выполненного оперативного вмешательства.

Характеристики выборки

Исходные характеристики групп представлены в табл. 2. Пациенты группы 3D характеризовались более старшим возрастом: медиана составила 12,33 года по сравнению с 5,67 года в контрольной группе ($p=0,030$). Кроме того, в группе 3D чаще отмечена периферическая и центральная локализация патологических очагов, тогда как в контрольной группе преобладало вовлечение hilarной зоны ($p=0,033$). Половой состав групп ($p=0,723$), типы патологии ($p=0,273$), отношение объёма патологического очага к объёму доли ($p=0,694$), а также наличие пневмонии в анамнезе ($p=0,694$) статистически значимых различий не имели (см. табл. 2).

Основные результаты исследования

Запланированные и фактически выполненные вмешательства. На рис. 4 представлен уровень соответствия запланированного объёма операции фактически выполненному в сравниваемых группах, он оставался высоким и статистически значимо не различался между группами. При этом распределение выполненных оперативных вмешательств по типам значимо различалось между группами (χ^2 , $p=0,0002$). В группе 3D сегментэктомию выполняли чаще (50,0% [8/16] против 12,5% [2/16]). Доля лобэктомий в группе 3D была ниже (0/16 против 11/16; точный критерий Фишера, $p < 0,001$).

Интраоперационные осложнения. Кровотечения из сегментарных сосудов были отмечены у 2/16 пациентов

(12,5%) в группе 3D и у 1/16 (6,3%) в контрольной группе (точный критерий Фишера, $p=1,00$). В обоих случаях в 3D-группе кровотечение было остановлено наложением швов без конверсии, в контрольной группе потребовалась конверсия в открытую операцию.

Продолжительность оперативных вмешательств. Медианная длительность операции составила 140 [95; 210] мин (диапазон 45–315) в группе 3D и 130 [113,8; 152,5] мин (диапазон 40–240) в контрольной группе (U -критерий Манна–Уитни, $p=0,610$). Медианная длительность операции при сегментэктомии составила 135 [125; 220] мин (диапазон 95–315) и при лобэктомиях — 145 [122,5; 175] мин (диапазон 90–240) (U -критерий Манна–Уитни, $p=0,860$). Медианная длительность операции при атипичной резекции составила 95 [75; 125] мин (диапазон 40–240), а при сегментэктомии — 135 [125; 220] мин (диапазон 95–315) (U -критерий Манна–Уитни, $p=0,020$).

Ранние послеоперационные осложнения. Ранние осложнения зарегистрированы у 3/16 пациентов (18,8%) при 3D-планировании и у 4/16 (25,0%) в контрольной группе (точный критерий Фишера, $p=1,00$). В 3D-группе осложнения включали сегментарный ателектаз (Clavien–Dindo IIIa), пневмонию (II), острую постгеморрагическую анемию (II). В контрольной группе отмечены ателектаз средней доли (IIIa), хилоторакс (II), плеврит (II) и длительное продувание по дренажу (I).

Длительность госпитализации и дренирования. Медианная длительность послеоперационного пребывания в стационаре составила 7 [6; 9] сут (диапазон 5–18) в группе 3D и 8 [7; 16,5] сут (диапазон 6–35) в контрольной группе (U -критерий Манна–Уитни, $p=0,086$). Медианная длительность дренирования составила 5,5 [4; 7,75] сут (диапазон 2–9) в группе 3D и 6,5 [5; 14,25] сут (диапазон 2–30) в контрольной группе ($p=0,062$).

Таблица 2. Исходные характеристики пациентов

Table 2. Baseline patient characteristics

Показатели		Основная группа (n=16)	Контрольная группа (n=16)	p
Пол	Мужской	8	7	0,723
	Женский	8	9	
Возраст (Me [Q ₁ ; Q ₃])		12,3 [9,3; 15,0]	5,7 [3,0; 9,0]	0,030
Патология	Эмфизема / кистозно-аденоматозная мальформация	6	10	0,273
	Доброкачественное образование / артериовенозная мальформация	7	3	
	Внутрилобарная секвестрация	3	3	
Зона поражения	Периферия	4	3	0,033
	Центральная	2	0	
	Периферия/центральная	9	5	
	Периферия/центральная/hilarная	1	8	
Относительный объём поражения, % ($V_{патологии}/V_{доли} \times 100$)		8,4	11,2	0,160
Наличие пневмонии в анамнезе	Да	4	5	0,694
	Нет	12	11	

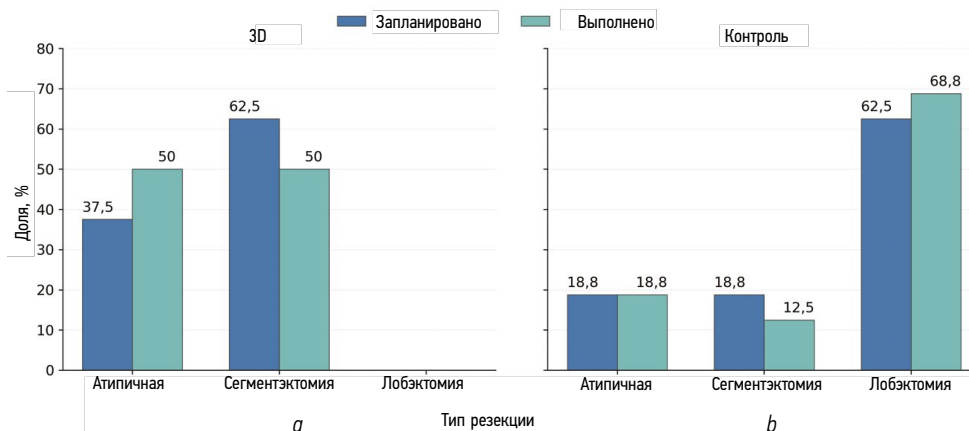


Рис. 4. Запланированный и фактически выполненный тип резекции в группах трёхмерного моделирования и контроля. Трёхмерное моделирование (а), ассоциировано с большей долей сублобарных резекций (краевых и сегментэктомий) и отсутствием лобэктомий, тогда как в контрольной группе (б), преобладала лобэктомия.

Fig. 4. Planned versus performed type of resection in the three-dimensional modeling and control groups. Three-dimensional planning (a), was associated with a higher proportion of sublobar resections (wedge resections and segmentectomies) and the absence of lobectomies, whereas lobectomy predominated in the control group (b).

Дополнительные результаты исследования

На втором этапе исследования оценивали факторы, ассоциированные с выбором типа резекции (многофакторный анализ).

Атипичная резекция. В многофакторной бинарной логистической регрессии вероятность выполнения атипичной резекции статистически значимо возрастала при патологии типа «доброкачественное новообразование/АВМ» ($OR=10,09$; $p=0,004$). Кроме того, периферическое расположение очага было статистически значимым предиктором выбора атипичной резекции ($OR=20,41$; $p=0,012$). На рис. 2 и 5 показаны 3D-модель образования, расположенного периферически в верхней доле левого лёгкого, а также интраоперационный вид и шов после атипичной резекции. С увеличением возраста вероятность атипичной резекции также возрастала ($OR=1,016$ на 1 мес.; $p=0,011$), что соответствует $OR\approx 1,21$ на 1 год.

Сегментэктомия. Вероятность выполнения сегментэктомии статистически значимо снижалась при поражении левого лёгкого ($OR=0,078$; $p=0,001$). Также отмечено

снижение вероятности сегментэктомии с увеличением числа вовлечённых сегментов: $OR=0,40$ на 1 сегмент; $p=0,024$). В бинарной логистической регрессии при сравнении сегментэктомии и атипичной резекции значимыми предикторами выбора сегментэктомии были возраст ≥ 8 лет и локализация очага в центральной зоне доли лёгкого (рис. 6).

Лобэктомия. Вероятность выполнения лобэктомии снижалась с увеличением возраста ($OR=0,974$ на 1 мес.; $p=0,001$; ориентировочно $OR\approx 0,73$ на 1 год) и возрастала с увеличением числа вовлечённых сегментов ($OR=3,99$ на 1 сегмент; $p=0,001$). При вовлечении 1–2 сегментов вероятность лобэктомии была ниже ($OR=0,10$; 95% ДИ 0,02–0,68; $p=0,009$), тогда как вовлечение ≥ 3 сегментов резко увеличивало вероятность лобэктомии ($OR=50,00$; 95% ДИ 26,60–98,24; $p=0,009$). В бинарной логистической регрессии при сравнении лобэктомии и сублобарных резекций предикторами выбора лобэктомии были: $LLR > 0,2$, локализация в hilarной зоне, количество вовлечённых в патологию сегментов ≥ 3 ; возрастная группа ≤ 3 лет (рис. 7).

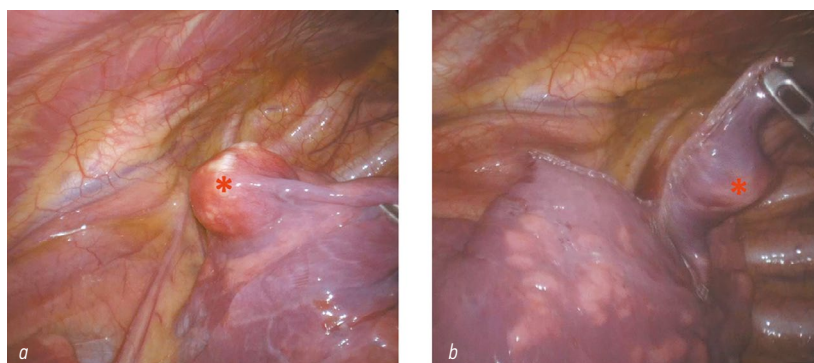


Рис. 5. Пример периферической локализации патологии, интраоперационная картина (гамартома удалена краевой резекцией): а — субплевральный узел до резекции, отмечен красной звёздочкой; б — вид после резекции с прошитой степлером линией паренхимы. Инструмент удерживает удалённый препарат, узел (гамартома) отмечен звёздочкой.

Fig. 5. Example of peripheral lesion localization, intraoperative view (hamartoma removed by wedge resection): a, subpleural nodule before resection, marked with a red asterisk; b, post-resection view with stapled parenchymal line. The instrument holds the resected specimen; the nodule (hamartoma) is marked with an asterisk.

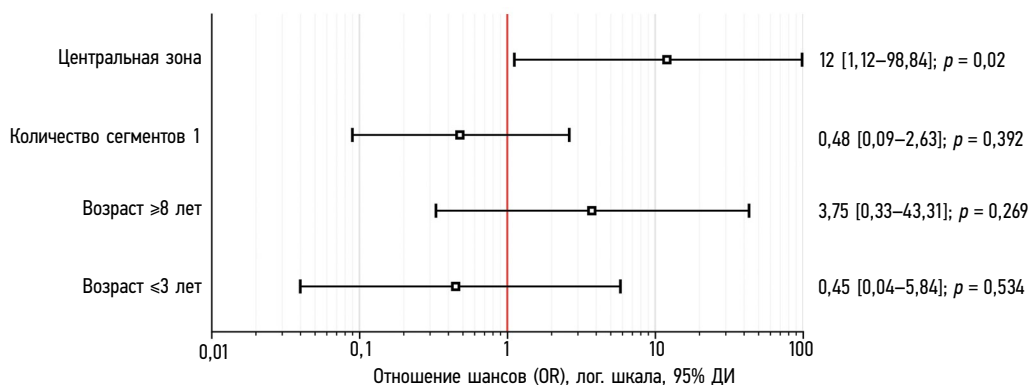


Рис. 6. Лесной график логистической регрессии, отношения шансов (OR) и 95% доверительного интервала (ДИ) сегментэктомии по сравнению с атипичной резекцией в зависимости от факторов (центральная локализация, планируемый объем резекции — 1 сегмент, возраст — ≤3 и ≥8 лет). Квадраты показывают оценки ОШ, горизонтальные линии — 95% ДИ. Вертикальная линия OR=1 соответствует отсутствию различий. Ось x в логарифмической шкале.

Fig. 6. Forest plot of logistic regression: odds ratios (OR) and 95% CIs for segmentectomy versus wedge resection according to predictors (central localization, planned resection of one segment, age ≤3 and ≥8 years). Squares indicate OR estimates; horizontal lines represent 95% CIs. The vertical line at OR = 1 indicates no effect. The x-axis is on a logarithmic scale.

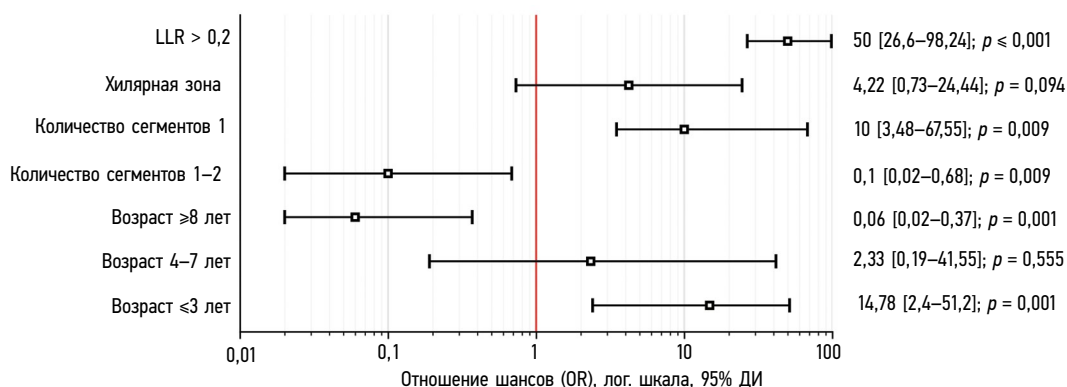


Рис. 7. Лесной график логистической регрессии, отношения шансов (OR) и 95% доверительного интервала (ДИ) лобэктомии по сравнению с сублобарной резекцией в зависимости от факторов (относительный объем патологии >0,2, хилярная локализация, 1–2 и ≥3 сегмента, возраст — ≤3, 4–7, ≥8 лет). Квадраты показывают оценки OR, горизонтальные линии показывают 95% ДИ. Вертикальная линия OR=1 соответствует отсутствию различий. Ось x в логарифмической шкале.

Fig. 7. Forest plot of logistic regression: odds ratios (OR) and 95% CIs for lobectomy versus sublobar resection according to predictors (relative lesion volume >0.2, hilar localization, 1–2 and ≥3 segments, age ≤3, 4–7, ≥8 years). Squares indicate OR estimates; horizontal lines represent 95% CIs. The vertical line at OR = 1 indicates no effect. The x-axis is on a logarithmic scale.

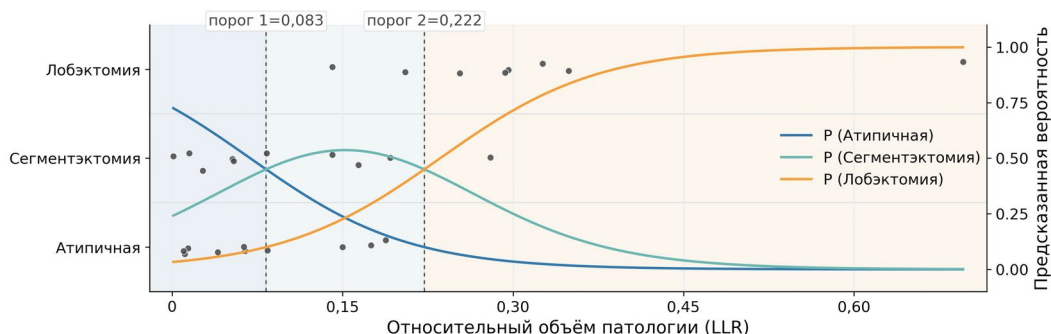


Рис. 8. Зависимость выбранного типа операции (атипичная < сегментэктомия < лобэктомия) от относительного объема патологии (LLR). Точки соответствуют отдельным пациентам (фактически выполненная операция). Сплошные линии отражают предсказанные ординальной логистической регрессией вероятности трёх вариантов вмешательства. Вертикальные пунктирные линии обозначают пороговые значения LLR, разделяющие области предпочтения операций по максимуму вероятности.

Fig. 8. Relationship between the selected type of surgery (wedge resection < segmentectomy < lobectomy) and relative lesion volume (LLR). Points represent individual patients (performed procedures). Solid lines indicate the probabilities of the three surgical options predicted by ordinal logistic regression. Vertical dashed lines represent LLR thresholds separating regions of preferred procedures based on maximum probability.

Относительный объём патологии (LLR). LLR эффективно различал лобэктомии и сублобарные резекции ($AUC=0,922$). Оптимальный порог $LLR=0,205$ обеспечивал чувствительность 0,875 и специфичность 0,950 (точность 0,929). Медианные значения LLR увеличивались с увеличением объёма вмешательства: атипичные резекции — 0,064 [0,021; 0,133], сегментэктомии — 0,069 [0,034; 0,158], лобэктомии — 0,294 [0,241; 0,332]. В ординальной логистической регрессии относительный объём был статистически значимым предиктором выбора более объёмного вмешательства ($\beta=14,32$; $p=0,002$), пороговые значения классов составили $\sim 0,083$ и $\sim 0,222$ (bootstrap 95% ДИ: 0,010–0,172 и 0,158–0,347) (рис. 8).

Наличие предоперационной 3D-модели оказалось наиболее сильным предиктором планирования сегментэктомии, увеличивая её вероятность более чем в 25 раз ($OR\approx 25,3$, $p=0,001$).

ОБСУЖДЕНИЕ

Резюме основного результата исследования

В настоящем исследовании предоперационное 3D-моделирование было связано со смещением хирургической тактики в сторону паренхимосберегающих вмешательств, прежде всего за счёт более частого выбора сегментэктомии и уменьшения потребности в лобэктомии. При этом показатели периоперационной безопасности (интраоперационные события и ранние послеоперационные осложнения) не ухудшались по сравнению с группой стандартного планирования. Длительность операции статистически значимо не различалась между контрольной и 3D-группами, а также между сегментэктомиями и лобэктомиями. В то же время сегментэктомии выполняли значимо дольше, чем атипичные резекции, что, вероятно, отражает больший технический объём и сложность вмешательства. По данным многофакторного анализа, объём резекции определяется сочетанием анатомических и объёмных характеристик патологии, а также возрастом пациента. Наибольший вклад в выбор между лобэктомией и сублобарной резекцией вносили локализация очага и отношение его объёма к объёму доли (LLR). Полученные результаты поддерживают использование 3D-планирования как инструмента стандартизации выбора объёма резекции. Метод позволяет более обоснованно принимать решение в пользу анатомических сублобарных вмешательств у детей без увеличения риска осложнений.

Ограничения исследования

Ретроспективный дизайн и небольшая выборка ограничивают статистическую мощность. Поэтому редкие периоперационные события могли остаться незамеченными, что повышает риск ошибки II рода. Исследование выполнено в одном центре одной командой, что снижает обобщаемость результатов. Оценки OR/RR могут быть нестабильны и зависеть от отдельных случаев, поэтому выводы носят скорее гипотезообразующий характер. Группы изначально

различались (в 3D-группе пациенты были старше и отличалась локализация патологий). Эти факторы сами по себе влияют на выбор объёма резекции. Даже при многофакторной коррекции возможны остаточные смешивающие влияния, включая сложность случая и предпочтения хирурга или семьи. Данные об исходах и осложнениях брались из медицинской документации. Для ретроспективных работ типичны неполные записи и разная трактовка событий. Показатели локализации и объёмного отношения патологии к доле зависят от качества сегментации и 3D-реконструкции. Ошибки измерения могут искажать связи, особенно если качество моделей различается. Наконец, метод требует ресурсов (программное обеспечение, время, опыт), что ограничивает внедрение без организационной поддержки.

Интерпретация результатов исследования

В данной работе авторами предложен и апробирован подход к выбору типа резекции лёгкого у детей на основе предоперационной анатомической 3D-модели лёгкого с патологическим очагом. Такой подход позволяет количественно оценить относительный объём патологии, уточнить зональную локализацию очага внутри доли, а также учесть индивидуальные варианты строения сегментарных сосудов и бронхов, что может повысить обоснованность планирования объёма вмешательства. В ранее опубликованных работах была показана связь относительного объёма патологии лёгкого с объёмом резекции при врождённых патологиях у детей, при этом показатель демонстрировал умеренную информативность [12]. В настоящем исследовании в пределах данной выборки его дискриминационная способность оказалась высокой, что, вероятно, связано с использованием параметра в сочетании с анатомическими характеристиками, полученными при 3D-планировании. Это показывает, что использование 3D-моделей может способствовать большей стандартизации выполнения хирургических вмешательств [9, 13].

Более частый выбор анатомической сегментэктомии на фоне использования 3D-визуализации соотносится с представлением о том, что трёхмерная визуализация улучшает понимание вариабельной сегментарной анатомии, помогает планировать линию резекции и предварительно оценивать вероятность достижения приемлемых хирургических краёв, что делает выбор анатомической сублобарной резекции более обоснованным [14–16]. При этом, учитывая ограничения настоящего исследования, полученные данные следует трактовать как статистическую связь, а не как подтверждение причинно-следственного влияния 3D-планирования на выбор тактики.

Также результаты не противоречат данным литературы, где сублобарные резекции у детей описаны как технически выполнимые и потенциально сопоставимые с лобэктомией по ранним исходам при сохранении паренхимы, хотя отдельные осложнения (например, длительное продувание по плевральному дренажу) могут встречаться чаще и требуют дальнейшего изучения и большего

времени наблюдения [7, 11, 17]. В настоящей работе различий по частоте ранних осложнений выявлено не было, однако из-за малого размера выборки вероятность недооценки количества редких событий остаётся высокой.

Во многих публикациях подчёркнута возможность выполнения анатомических сегментэктомий даже у детей раннего возраста при достаточном опыте хирурга и наличии технических возможностей. Вместе с тем в когорте настоящего исследования возраст заметно ассоциировался с выбором типа резекции, и сегментэктомию чаще выбирали у более старших детей. Такое расхождение с результатами отдельных публикаций может быть обусловлено различиями в критериях отбора пациентов, спектре патологий, методах визуализации, опыте хирургов, а также доступности и качестве 3D-анатомической навигации в конкретных клинических условиях [9, 11, 18].

В целом, полученные результаты подтверждают целесообразность использования относительного объёма поражения как количественного ориентира при выборе между сублобарной резекцией и лобэктомией. При этом предоперационная 3D-модель имеет дополнительное значение для уточнения зональной локализации, степени сегментарного вовлечения и выбора варианта сублобарного вмешательства (атипичная резекция или анатомическая сегментэктомия). В частности, при относительном объёме поражения $>0,2$ в сочетании с локализацией в хиллярной зоне предпочтение следует отдавать лобэктомии. В то же время даже при таком же или большем относительном объёме патологии выбор не всегда должен автоматически смещаться в пользу лобэктомии. Если очаг расположен в пределах соседних сегментов и их технически возможно удалить без нарушения кровоснабжения и вентиляции интактных сегментов, может быть обоснован выбор анатомической сегментэктомии. Дополнительным аргументом в пользу такого подхода служит преимущественно центральное расположение очага в пределах доли лёгкого. При периферической локализации очага может быть рекомендована атипичная резекция.

Предложенные пороговые ориентиры следует рассматривать как предварительные и зависящие от клинического контекста, они требуют внешней валидации. Окончательное решение должно приниматься с учётом типа патологии, возраста пациента, клинической ситуации и опыта хирурга. Дальнейшие исследования целесообразно направить на проспективную проверку объёмных предикторов, стандартизацию алгоритмов 3D-планирования и оценку долгосрочных исходов, включая функцию лёгких, частоту рецидивов и повторных вмешательств [8, 11, 13].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной когорте использование предоперационного 3D-моделирования ассоциировано с более частым выбором сегментэктомии и снижением доли лобэктомий при отсутствии выявленных различий по ранним осложнениям. Показатель LLR в сочетании с анатомическими

характеристиками локализации продемонстрировал высокую дискриминирующую способность при разграничении лобэктомии и сублобарных резекций, однако предложенные пороговые значения требуют внешней проверки. С учётом ретроспективного дизайна различий в исходных характеристиках групп и малого размера выборки полученные результаты следует рассматривать как гипотезообразующие, они нуждаются в проспективной валидации до их широкого клинического применения.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. С.В. Выдыш — определение концепции, разработка методологии, проведение исследования, работа с данными, визуализация, написание черновика рукописи, пересмотр и редактирование рукописи; О.Г. Топилин — обеспечение исследования, администрирование проекта, пересмотр и редактирование рукописи, привлечение финансирования; О.В. Пикин — определение концепции, разработка методологии, руководство исследованием, пересмотр и редактирование рукописи; А.В. Чуканова — анализ данных, валидация, визуализация, пересмотр и редактирование рукописи; Ю.Ю. Соколов — определение концепции, разработка методологии, руководство исследованием, пересмотр и редактирование рукописи. Авторы одобрили рукопись (версию для публикации) и согласились нести ответственность за все аспекты работы, обеспечивая надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Благодарности. Авторы выражают признательность за безупречную работу коллективу отделения торакальной хирургии Морозовской детской городской клинической больницы и поддержку в проведении исследования.

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено независимым этическим комитетом Российской медицинской академии непрерывного профессионального образования (протокол № 11 от 11.10.2024). От всех участников исследования получено подписанное информированное добровольное согласие на участие в исследовании.

Источники финансирования. Авторы заявляют, что финансовая поддержка исследования была предоставлена Московским центром инноваций в здравоохранении (Соглашение № 1603-36/23).

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При проведении исследования и создании настоящей статьи авторы не использовали ранее полученные и опубликованные сведения (данные, текст, иллюстрации).

Доступ к данным. Авторы предоставляют ограниченный доступ к данным по обоснованному запросу. Деидентифицированные индивидуальные данные пациентов (минимальный набор, необходимый для воспроизведения основных анализов), а также протокол статистического анализа могут быть предоставлены после рассмотрения запроса и заключения соглашения о передаче данных, при условии соответствия требованиям этического одобрения и законодательства о персональных данных. Запросы следует направлять ответственному автору: София Витальевна Выдыш, vudysh.sofia@gmail.com.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Рассмотрение и рецензирование. Рукопись направлена в редакцию журнала в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента — специалисты по теме статьи.

ADDITIONAL INFO

Author contributions: S.V. Vidysh: conceptualization, methodology, investigation, data curation, software, visualization, writing—original draft, writing—review & editing; O.G. Topilin: resources, project administration, writing;

review & editing, funding acquisition; O.V. Pikin: conceptualization, methodology, supervision, writing: review & editing; A.V. Chukanova: formal analysis, validation, visualization, writing—review & editing; Yu.Yu. Sokolov: conceptualization, methodology, supervision, writing—review & editing. The authors approved the final version of the manuscript for publication and agreed to be accountable for all aspects of the work, ensuring that any questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Ethics approval: The study was approved by the Independent Ethics Committee of the Russian Medical Academy of Continuous Professional Education (Protocol No. 11 dated October 11, 2024). The legal representatives of all patients provided written consent to participate in the study.

Funding sources: The authors declare that this study was financially supported by the Moscow Center for Healthcare Innovations (Agreement No. 1603-36/23).

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: No previously obtained or published material (text, images, or data) was used in this study or article.

Data availability statement: The authors provide restricted access to the data upon reasonable request. Deidentified individual participant data (the minimum dataset required to reproduce the main analyses), along with the statistical analysis plan, may be made available following review of the request and execution of a data transfer agreement, provided that the request complies with ethical approval requirements and applicable data protection legislation. Requests should be directed to the corresponding author: Sofii V. Vydish, vydysh.sofia@gmail.com.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Review and peer review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process involved two external reviewers invited by the editorial office as area experts.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Kunisaki SM. Narrative review of congenital lung lesions. *Transl Pediatr.* 2021;10(5):1418–1431. doi: 10.21037/tp-20-133
2. Pederiva F, Rothenberg SS, Hall N, et al. Congenital lung malformations. *Nat Rev Dis Primers.* 2023;9(1):60. doi: 10.1038/s41572-023-00470-1
3. Ceylan KC, Batihan G, Uçvet A, Gürsoy S. Surgery in congenital lung malformations: the evolution from thoracotomy to VATS, 10-year experience in a single center. *J Cardiothorac Surg.* 2021;16:131. doi: 10.1186/s13019-021-01511-0
4. Özkan M. Pulmonary tumors in childhood. *Türk Gogus Kalp Damar Cerrahisi Derg.* 2024;32(s1):S73–S77. doi: 10.5606/tgkdc.dergisi.2024.25863
5. Macchini F. Thoracoscopic resection of congenital pulmonary airway malformations: timing and technical aspects. *J Thorac Dis.* 2020;12(8):3944–3948. doi: 10.21037/jtd.2020.03.109
6. Guo R, Zhai Y, Zhang S, et al. Modified thoracoscopic wedge resection of limited peripheral lesions in S10 for children with congenital pulmonary airway malformation: initial single-center experience. *Front Pediatr.* 2022;10:934827. doi: 10.3389/fped.2022.934827
7. Joo S, Yun T, Kang CH, et al. Thoracoscopic segmentectomy in children with congenital lung malformation. *Sci Rep.* 2023;13:9640. doi: 10.1038/s41598-023-36700-5
8. Bakhuis W, Kersten CM, Sadeghi AH, et al. Preoperative visualization of congenital lung abnormalities: hybridizing artificial intelligence and virtual reality. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2023;63(1):ezad014. doi: 10.1093/ejcts/ezad014
9. Tan Z, Yang L, Zou C, et al. The application of virtual segmentectomy based on three-dimensional computed tomography and angiography in thoracoscopic segmentectomy for children and infants. *Pediatr Surg Int.* 2021;37(9):1207–1214. doi: 10.1007/s00383-021-04899-x
10. Weiss KD, Deeb AL, Wee JO, et al. When a segmentectomy is not a segmentectomy: quality assurance audit and evaluation of required elements for

an anatomic segmentectomy. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2023;165(6):1919–1925. doi: 10.1016/j.jtcvs.2022.08.042

11. Kersten CM, Rousian M, Wesseling JJ, et al. Sublobar pulmonary resection in children with congenital lung abnormalities: a systematic review. *J Pediatr Surg.* 2023;58(11):2088–2097. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2023.05.030

12. Yang W, Shen C, Yu N, et al. Computer-aided quantitative MSCT measurements may be useful for congenital lung malformations surgical approach selection. *Pediatr Surg Int.* 2021;37(9):1273–1280. doi: 10.1007/s00383-021-04949-4

13. Peng Y, Xu Y, Tang J, et al. Analysis of anatomical characteristics of congenital pulmonary airway malformation lesions based on CT images. *Front Pediatr.* 2025;13:1576380. doi: 10.3389/fped.2025.1576380

14. Wu WB, Xu XF, Wen W, et al. Three-dimensional computed tomography bronchography and angiography in the preoperative evaluation of thoracoscopic segmentectomy and subsegmentectomy. *J Thorac Dis.* 2016;8(S9):S710–S715. doi: 10.21037/jtd.2016.09.43

15. Shimizu K, Nakazawa S, Nagashima T, et al. 3D-CT anatomy for VATS segmentectomy. *J Vis Surg.* 2017;3:88. doi: 10.21037/jovs.2017.05.10

16. Hu W, Zhang K, Han X, et al. Three-dimensional computed tomography angiography and bronchography combined with three-dimensional printing for thoracoscopic pulmonary segmentectomy in stage IA non-small cell lung cancer. *J Thorac Dis.* 2021;13(2):1187–1195. doi: 10.21037/jtd-21-16

17. Johnson SM, Grace N, Edwards MJ, et al. Thoracoscopic segmentectomy for treatment of congenital lung malformations. *J Pediatr Surg.* 2011;46(12):2265–2269. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2011.09.012

18. Cheng K, Liu X, Yuan M, et al. Thoracoscopic anatomic pulmonary segmentectomy for the treatment of congenital lung malformation in children. *Asian J Surg.* 2023;46(1):532–538. doi: 10.1016/j.asjsur.2022.06.040

ОБ АВТОРАХ

***Выдыш София Витальевна;**

адрес: Россия, 123242, Москва, Баррикадная ул., 2/1, стр. 1;
ORCID: 0000-0002-8857-7810; eLibrary SPIN: 7848-8251;
e-mail: vydysh.sofia@gmail.com

Топилин Олег Григорьевич, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-5302-0502; eLibrary SPIN: 6332-2849;
e-mail: doc.topilin@gmail.com

Пикин Олег Валентинович, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0001-6871-6804; eLibrary SPIN: 2381-5969;
e-mail: pikin_ov@mail.ru

Чуканова Анна Витальевна;
ORCID: 0009-0006-4092-1957; e-mail: chukanovaaaa@gmail.com

Соколов Юрий Юрьевич, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0003-3831-768X; eLibrary SPIN: 9674-1049;
e-mail: sokolov-surg@yandex.ru

AUTHOR INFO

***Sofii V. Vydish, MD;**

address: 2/1, Building 1, Barrikadnaya St, Moscow, 123242,
Russia; ORCID: 0000-0002-8857-7810; eLibrary SPIN: 7848-8251;
e-mail: vydysh.sofia@gmail.com

Oleg G. Topilin, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-5302-0502; eLibrary SPIN: 6332-2849;
e-mail: doc.topilin@gmail.com

Oleg V. Pikin, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0001-6871-6804; eLibrary SPIN: 2381-5969;
e-mail: pikin_ov@mail.ru

Anna V. Chukanova;
ORCID: 0009-0006-4092-1957; e-mail: chukanovaaaa@gmail.com

Yurij Yu. Sokolov, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0003-3831-768X; eLibrary SPIN: 9674-1049;
e-mail: sokolov-surg@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author