

ПРИМЕНЕНИЕ ТУЛИЕВОГО ЛАЗЕРА В ИНТЕРВЕНЦИОННОЙ БРОНХОСКОПИИ У РЕЦИПИЕНТОВ ЛЕГКИХ

М.Т. Беков¹, И.В. Пашков¹, Р.А. Латыпов¹, Д.О. Олешкевич¹, К.С. Смирнов¹,
Я.С. Якунин¹, Н.А. Кузнецов¹, Т.С. Лобова¹, А.З. Гулуев¹, С.В. Готье^{1, 2}

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр трансплантологии и искусственных органов имени академика В.И. Шумакова» Минздрава России, Москва, Российская Федерация

² ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский университет), Москва, Российская Федерация

Бронхиальные стенозы являются одной из основных причин тяжелого течения послеоперационного периода у реципиентов донорских легких. Одним из методов восстановления проходимости дыхательных путей является реканализация с использованием лазера. Данная методика востребована ввиду сочетания режущих и коагуляционных эффектов. В данной статье продемонстрирована возможность использования фиброволоконного тулиевого лазера при внутрисветном использовании с целью реканализации бронхиальных стенозов у реципиентов легких.

Ключевые слова: трансплантация легких, бронхиальные осложнения, бронхиальные стенозы, тулиевый лазер.

THULIUM FIBER LASER USE IN INTERVENTIONAL BRONCHOSCOPY IN LUNG RECIPIENTS

М.Т. Bekov¹, I.V. Pashkov¹, R.A. Latypov¹, D.O. Oleshkevich¹, K.S. Smirnov¹, Ya.S. Yakunin¹,
N.A. Kuznetsov¹, T.S. Lobova¹, A.Z. Guluev¹, S.V. Gautier^{1, 2}

¹ Shumakov National Medical Research Center of Transplantology and Artificial Organs, Moscow, Russian Federation

² Sechenov University, Moscow, Russian Federation

Bronchial stenosis is a major cause of severe postoperative period in lung recipients. One of the methods to restore airway patency is recanalization using laser. This technique is popular due to the combination of cutting and coagulation effects. In this article, we demonstrate the possibility of intraluminal use of a thulium fiber laser (TFL) to recanalize bronchial stenosis in lung recipients.

Keywords: lung transplantation, bronchial complications, bronchial stenosis, thulium laser.

ВВЕДЕНИЕ

Трансплантация легких является общепризнанным радикальным методом хирургического лечения хронических заболеваний легких в стадии декомпенсированной дыхательной недостаточности, резистентной к другим существующим методам консервативного лечения. С момента первой трансплантации легких, выполненной J.D. Hardy, прошло более 60 лет. За этот период трансплантация легких

стала рутинным и доступным видом медицинской помощи. Рост числа реципиентов легких, а также увеличение продолжительности их жизни закономерно приводят к увеличению количества выявляемых в разные сроки после операции бронхиальных осложнений.

Бронхиальные стенозы – одна из главных разновидностей бронхиальных осложнений – являются одной из причин тяжелого течения отдаленного послеоперационного периода у реципиентов донорских

Для корреспонденции: Беков Максат Турдумаматович. Адрес: 123182, Москва, ул. Щукинская, д. 1.
Тел. (926) 399-49-75. E-mail: doctorbekov@gmail.com

Corresponding author: Bekov Maksat. Address: 1, Shchukinskaya str., Moscow, 123182, Russian Federation.
Phone: (926) 399-49-75. E-mail: doctorbekov@gmail.com

легких [1, 3]. Восстановление проходимости дыхательных путей осуществляется методами интервенционной бронхоскопии, в том числе с использованием фиброволоконного тулиевого лазера.

Интервенционная бронхоскопия является важной составляющей мультидисциплинарного подхода к послеоперационному ведению реципиентов легких.

Бронхиальным стенозом (БС) после трансплантации легких является стойкое, не зависящее от акта дыхания сужение просвета, преимущественно за счет рубцовой или грануляционной ткани.

Несмотря на относительно низкую частоту тяжелых форм бронхиальных осложнений, именно стенозы значительно ухудшают функцию трансплантата и качество жизни реципиента, прогрессируя, приводят к жизнеугрожающим состояниям [4].

К основным методикам эндоскопической коррекции бронхиальных стенозов у реципиентов легких относят:

- баллонную дилатацию [5];
- аргонплазменную коагуляцию (АПК) [6, 7];
- использование лазера;
- криоабляцию [8];
- аппликацию или инъекцию митомицина в область рубца [9, 10];
- инъекцию глюкокортикостероидов в область рубца [11];
- брахитерапию [12];
- стентирование [13–17].

Использование лазера в восстановлении проходимости дыхательных путей имеет преимущества ввиду сочетания режущего и коагулирующего воздействия на ткани [18, 19]. Проникающая способность лазер-индуцированной коагуляции варьируется в пределах 1–2 мм вместо неконтролируемой глубокой коагуляции тканей при применении аргонплазменной коагуляции [20].

С целью обеспечения оптимальной экспозиции при выполнении манипуляции лазер используют в условиях ригидной бронхоскопии [21]. Среди основных осложнений принято выделять кровотечение, перфорацию, образование бронхиальных свищей. Так, в работе S. Cavaliere et al. серьезные осложнения возникли у 119 из 5049 пациентов после восстановления просвета дыхательных путей с помощью лазера (2,4%), а смертность составила 0,3% [22].

Также одним из характерных для использования лазера осложнений является риск возникновения возгорания в дыхательных путях [23]. С целью профилактики рекомендуется снижать FiO_2 меньше 40% или, если позволяет клиническая ситуация, работать в условиях апноэ [24].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В ФГБУ «НМИЦ ТИО им. ак. В.И. Шумакова» Минздрава России за период с 2014-го по май 2023 года было выполнено 109 трансплантаций легких, в том числе в составе комплекса «сердце–легкие».

В качестве диагностических методов для выявления и определения степени стеноза использовались показатели спирометрии, мультиспиральной рентгеновской компьютерной томографии органов грудной клетки, а также обзорная видеобронхоскопия.

Бронхиальные осложнения, в частности бронхиальные стенозы, классифицировались согласно Рекомендациям международного сообщества трансплантации сердца и легких (ISHLT) (табл.) [14].

Терапевтические подходы к стенозам бронхиального дерева легочных трансплантатов характеризуются этапностью применения и возрастающей степенью инвазивности способов реканализации при рецидивирующем течении данного осложнения.

Критериями отбора реципиентов для выполнения лазерной реканализации являлось наличие стеноза

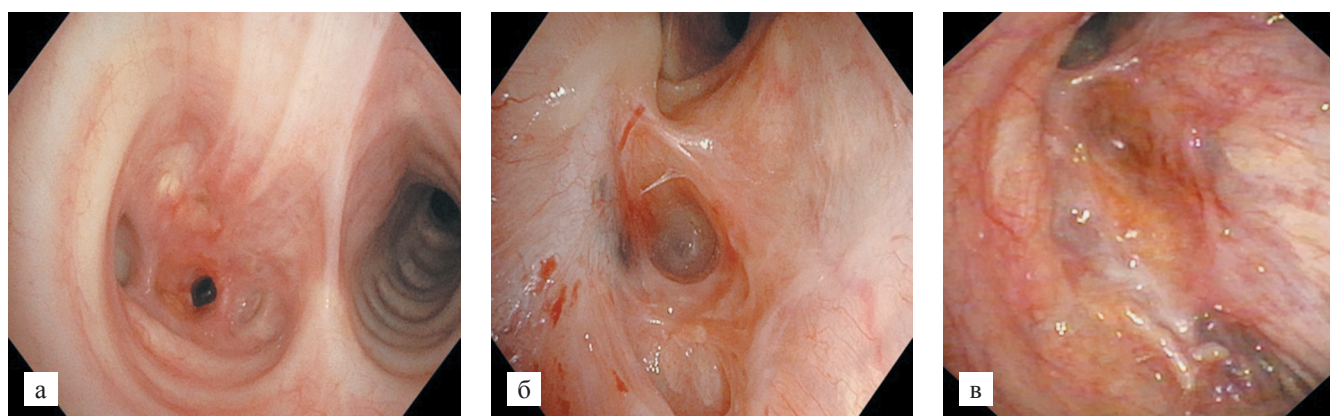


Рис. 1. Бронхиальные стенозы: а, б – стенозы бронхов 3-й степени; в – стеноз бронха 4-й степени

Fig. 1. Bronchial stenosis: а, б – grade III bronchial stenosis; в – grade IV bronchial stenosis

3–4-й степени согласно вышеуказанной классификации (рис. 1).

Во всех случаях использовался тулиевый лазер (FIBERLASE U3). Диаметр волокна составлял 365 мкм, длина волны 1,94 мкм. Энергия импульса выставлялась на минимальных параметрах – 0,025 Дж, а частота – 240 Гц. При необходимости увеличить интенсивность воздействия в первую очередь увеличивали частоту излучения, а не энергию.

Оперативные вмешательства выполнялись в операционной под общей анестезией, в условиях ригидной бронхоскопии и высокочастотной искусственной вентиляции легких. Стоит отметить, что с целью предотвращения возгорания этапы оперативного вмешательства, связанные с воздействием лазера, выполнялись в условиях апноэ.

С помощью катетера выполнялись постоянная ирригация и аспирация 0,9% раствора натрия хлорида (рис. 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ

За указанный период бронхиальные стенозы, требующие эндоскопических вмешательств, возникли у 21 реципиента легких (19,3%). У 9 пациентов отмечались мультифокальные стенозы.

В среднем каждому реципиенту легких с рецидивирующим бронхиальным стенозом было выполнено от 1 до 6 эндоскопических вмешательств разной степени инвазивности с целью восстановления проходимости бронхов. Стойкая ремиссия продолжительностью не менее 6 месяцев была достигнута в 15 случаях (71,4%). Впервые в нашей практике тулиевый лазер был применен в июне 2021 года. Всего же лазерная реканализация была применена в 14 случаях у 11 реципиентов. Стоит отметить, что во всех случаях лазер использовался в комбинации с баллонной дилатацией, криотерапией и стентированием.

При использовании лазера в водной среде отмечалось меньшее образование струпа (карбонизации) по сравнению с использованием лазера в воздушной среде или с аргоноплазменной коагуляцией (рис. 3). Данная закономерность связана с большим эффектом vaporization в водной среде.

В нашей практике серьезных осложнений, связанных с использованием тулиевого лазера, отмечено не было.

ВЫВОДЫ

1. Использование тулиевого лазера в интервенционной бронхоскопии у реципиентов легких является

Таблица

Классификация бронхиальных осложнений ISHLT
ISHLT classification of bronchial complications

Ишемия и некроз	Локализация	a – в зоне анастомоза (в пределах 1 см)
		b – процесс, исходящий из анастомоза до промежуточного бронха или до проксимального края левого главного бронха
		c – процесс, исходящий из главного бронха с распространением на долевые или сегментарные бронхи
	Степень	a – циркулярная ишемия менее 50% диаметра анастомоза b – циркулярная ишемия от 50 до 100% диаметра анастомоза c – циркулярный некроз менее 50% диаметра анастомоза d – циркулярный некроз от 50 до 100% диаметра анастомоза
Несостоятельность	Локализация	a – хрящевая часть b – мембранозная часть c – распространенная
		a – до 25% диаметра анастомоза b – от 25 до 50% диаметра анастомоза c – от 50 до 75% диаметра анастомоза d – более 75% диаметра анастомоза
		a – зона анастомоза b – анастомоз + долевые/сегментарные бронхи c – только долевые/сегментарные бронхи
	Степень	a – уменьшение диаметра до 25% диаметра анастомоза b – уменьшение диаметра от 25 до 50% диаметра анастомоза c – уменьшение диаметра от 50 до 100% диаметра анастомоза d – полная обструкция
Стенозы	Локализация	a – в пределах 1 см от зоны анастомоза b – с вовлечением анастомоза и распространением более 1 см
	Степень	a – в пределах 1 см от зоны анастомоза b – с вовлечением анастомоза и распространением более 1 см
Бронхомаляция	Локализация	a – в пределах 1 см от зоны анастомоза b – с вовлечением анастомоза и распространением более 1 см
		a – в пределах 1 см от зоны анастомоза b – с вовлечением анастомоза и распространением более 1 см

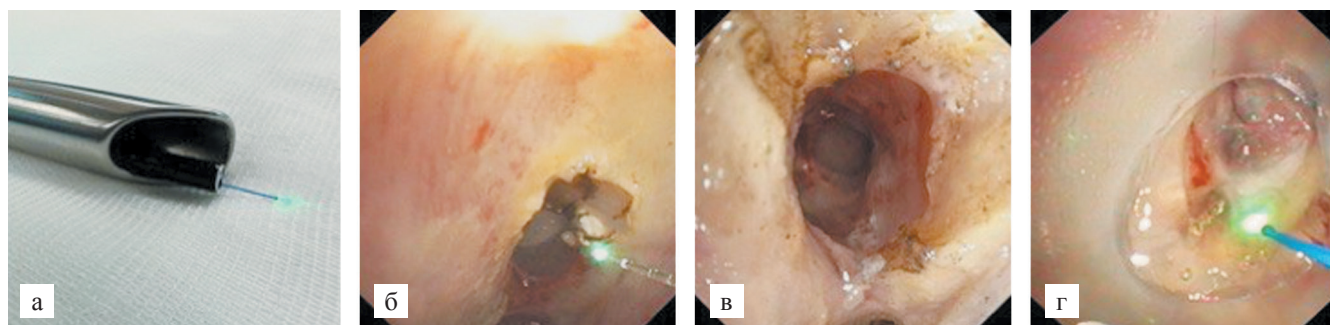


Рис. 2. Этапы реканализации стеноза бронхов: а – гибкий бронхоскоп расположен в просвете ригидного бронхоскопа с волокном тулиевого лазера; б, в – эндоскопическая картина в момент реканализации тулиевым лазером; г – применение лазера в водной среде с использованием дистального колпачка с ирригацией 0,9% раствора натрия хлорида

Fig. 2. Stages of bronchial stenosis recanalization: а – flexible bronchoscope is located in the lumen of a stiff bronchoscope with a thulium laser fiber; б, в – endoscopic picture at the moment of recanalization with thulium laser; г – laser application in aqueous medium using a distal bulb with irrigation with sodium chloride 0.9%

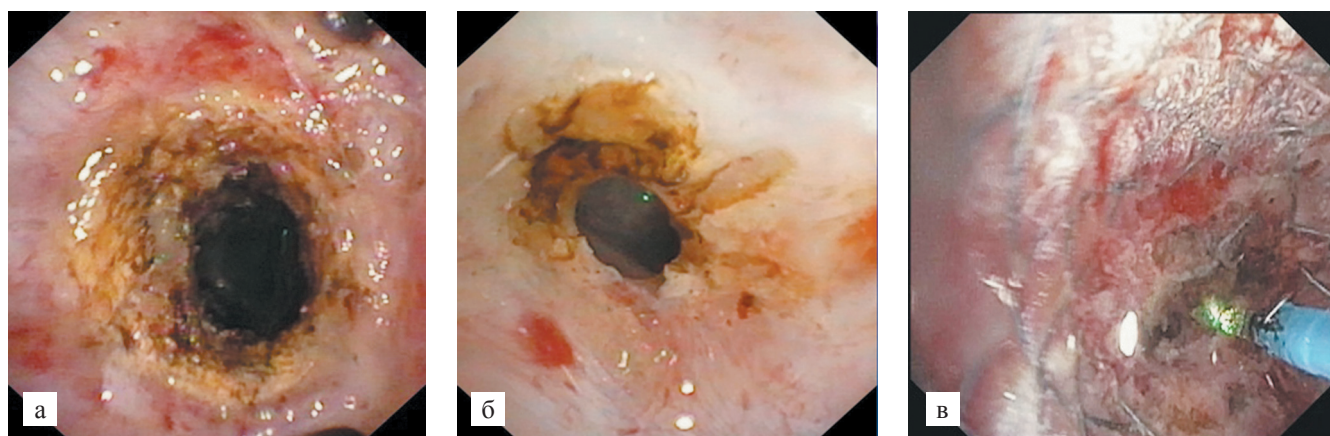


Рис. 3. Степень карбонизации при реканализации бронхов: а – воздействие аргонплазменной коагуляции; б – воздействие тулиевого лазера в воздушной среде; в – воздействие тулиевого лазера в водной среде, с имплантированным стентом в просвете бронха

Fig. 3. Extent of carbonization during bronchial recanalization: а – exposure to argon-plasma coagulation; б – exposure to thulium laser in air medium; в – exposure to thulium laser in aqueous medium, with an implanted stent in the bronchial lumen

эффективным и безопасным методом реканализации бронхов.

2. Использование лазера в условиях водной среды значительно уменьшает образование грубого струпа в области коагуляции, а также препятствует возгоранию кислорода в дыхательных путях. Но стоит отметить, что ввиду особенностей бронхиального дерева воссоздание водной среды не всегда представляется возможным.
3. Наиболее эффективное использование тулиевого лазера заключается в его применении в сочетании с другими способами реканализации бронхиальных стенозов, в сочетании с баллонной дилатацией, криоабляцией и/или стентированием.
4. Существующие в рамках интервенционной бронхоскопии методы внутрипросветного высокоэнергетического воздействия позволяют решать ши-

рокий спектр задач, направленных на улучшение отдаленных результатов трансплантации донорских легких.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Mohanka M, Banga A. Alterations in Pulmonary Physiology with Lung Transplantation. *Comprehensive Physiology*. 2023; 13 (1): 4269–4293. doi: 10.1002/cphy.c220008.
2. Lequia L, Frisch A, Sinniah RS, Girgis RE, Egan J, Sathiyamoorthy G et al. Post-transplant bronchial stenosis: A single center retrospective study. *Chest*. 2022; 162 (4): 2582–2583. doi: 10.1016/j.chest.2022.08.2111.

3. Kim HH, Jo KW, Shim TS, Ji W, Ahn JH, Oh DK et al. Incidence, risk factors, and clinical characteristics of airway complications after lung transplantation. *Scientific Reports*. 2023; 13 (1): 1–10. doi: 10.1038/s41598-023-27864-1.
4. Delbove A, Senage T, Gazengel P, Tissot A, Lacoste P, Cellerin L et al. Incidence and risk factors of anastomotic complications after lung transplantation. *Therapeutic Advances in Respiratory Disease*. 2022; 16: 1–10. doi: 10.1177/17534666221110354.
5. De Gracia J, Culebras M, Alvarez A, Catalán E, De la Rosa D, Maestre J et al. Bronchoscopic balloon dilatation in the management of bronchial stenosis following lung transplantation. *Respiratory medicine*. 2007; 101 (1): 27–33. doi: 10.1016/j.rmed.2006.04.019.
6. Keller CA, Hinerman R, Singh A, Alvarez F. The use of endoscopic argon plasma coagulation in airway complications after solid organ transplantation. *Chest*. 2001; 119 (6): 1968–1975. doi: 10.1378/chest.119.6.1968.
7. Bergler W, Hönig M, Götte K, Petroianu G, Hörmann K. Treatment of recurrent respiratory papillomatosis with argon plasma coagulation. *The Journal of Laryngology & Otology*. 1997; 111 (4): 381–384. doi: 10.1017/S0022215100137387.
8. Maiwand MO, Zehr KJ, Dyke CM, Peralta M, Tadjkarim, S, Khagani A, Yacoub MH. The role of cryotherapy for airway complications after lung and heart-lung transplantation. *European journal of cardio-thoracic surgery*. 1997; 12 (4): 549–554. doi: 10.1016/S1010-7940(97)00208-X.
9. Cosano-Povedano J, Muñoz-Cabrera L, Jurado-Gámez B, del Carmen Fernández-Marín M, Cobos-Ceballos MJ, Cosano-Povedano A. Topical mitomycin C for recurrent bronchial stenosis after lung transplantation: a report of 2 cases. *Journal of Bronchology & Interventional Pulmonology*. 2008; 15 (4): 281–283. doi: 10.1097/LBR.0b013e3181879e3a.
10. Davidson KR, Elmasri M, Wahidi MM, Shofer SL, Cheng GZ, Mahmood K. Management of lung transplant bronchial stenosis with mitomycin C. *Journal of Bronchology & Interventional Pulmonology*. 2019; 26 (2): 124–128. doi: 10.1097/LBR.0000000000000540.
11. Tremblay A, Coulter TD, Mehta AC. Modification of a mucosal-sparing technique using electrocautery and balloon dilatation in the endoscopic management of web-like benign airway stenosis. *Journal of Bronchology & Interventional Pulmonology*. 2003; 10 (4): 268–271.
12. Warszawski-Baumann A, Baumann R, Karstens J, Christiansen H, Gottlieb J, Welte T. HDR brachytherapy: an option for preventing nonmalignant obstruction in patients after lung transplantation. *Strahlentherapie und Onkologie*. 2012; 188 (12): 1085.
13. Machuzak M, Santacruz JF, Gildea T, Murthy SC. Airway complications after lung transplantation. *Thoracic surgery clinics*. 2015; 25 (1): 55–75. doi: 10.1016/j.thor-surg.2014.09.008.
14. Crespo MM, McCarthy DP, Hopkins PM, Clark SC, Budev M, Bermudez CA et al. ISHLT Consensus Statement on adult and pediatric airway complications after lung transplantation: Definitions, grading system, and therapeutics. *The Journal of Heart and Lung Transplantation*. 2018; 37 (5): 548–563. doi: 10.1016/j.healun.2018.01.1309.
15. Choong CK, Sweet SC, Zoole JB, Guthrie TJ, Mendeloff EN, Haddad FJ et al. Bronchial airway anastomotic complications after pediatric lung transplantation: incidence, cause, management, and outcome. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2006; 131 (1): 198–203. doi: 10.1016/j.jtcvs.2005.06.053.
16. Chhajed PN, Tamm M, Glanville AR. Role of flexible bronchoscopy in lung transplantation. *Seminars in respiratory and critical care medicine*. 2004; 25 (04): 413–423. doi: 10.1055/s-2004-832714.
17. Murthy SC, Blackstone EH, Gildea TR, Gonzalez-Stawinski GV, Feng J, Budev M et al. Impact of anastomotic airway complications after lung transplantation. *The Annals of thoracic surgery*. 2007; 84 (2): 401–409. doi: 10.1016/j.athoracsur.2007.05.018.
18. Colt HG. Bronchoscopic laser in the management of airway disease in adults. MediLib c2020 [updated 202 august 11; cited 2023 March]. Available from: <https://www.medilib.ir/>.
19. Jeong BH, Um SW, Suh GY, Chung MP, Kwon OJ, Kim H, Kim J. Results of interventional bronchoscopy in the management of postoperative tracheobronchial stenosis. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 2012; 144 (1): 217–222. doi: 10.1016/j.jtcvs.2012.03.077.
20. Gesierich W, Reichenberger F, Fertl A, Haeussinger K, Sroka R. Endobronchial therapy with a thulium fiber laser (1940 nm). *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 2014; doi: 147 (6): 1827–1832.
21. Perrin G, Colt HG, Martin C, Mak MA, Dumon JF, Gouin F. Safety of interventional rigid bronchoscopy using intravenous anesthesia and spontaneous assisted ventilation: a prospective study. *Chest*. 1992; 102 (5): 1526–1530. doi: 10.1378/chest.102.5.1526.
22. Cavaliere S, Dumon JF. Laser bronchoscopy. In *Interventional bronchoscopy*. Karger Publishers. 2000; 41 (1): 108–119. doi: 10.1159/000162111.
23. Mahmood K, Wahidi MM. Ablative therapies for central airway obstruction. *Seminars in respiratory and critical care medicine*. 2014; 35 (06): 681–692. doi: 10.1055/s-0034-1395501.
24. Caplan RA, Barker SJ, Connis RT, Cowles C, de Richemond AL, Nickinovich DG et al. Practice advisory for the prevention and management of operating room fires: an updated report by the American Society of Anesthesiologists Task Force on Operating Room Fires. *Anesthesiology*. 2013; 118 (2): 271–290. doi: 10.1097/ALN.0b013e31827773d2.

Статья поступила в редакцию 17.07.2023 г.

The article was submitted to the journal on 17.07.2023