

# КОНТАКТНАЯ ЛАЗЕРНАЯ ЛИТОТРИПСИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИЛЬНО РАЗОГРЕТОГО ДИСТАЛЬНОГО КОНЦА ВОЛОКОННОГО СВЕТОВОДА СО СВЕТОПОГЛОЩАЮЩИМ ПОКРЫТИЕМ

DOI: 10.17691/stm2017.9.4.17  
УДК 616.62–003.7–089.879–77  
Поступила 28.06.2017 г.



О.С. Стрельцова, д.м.н., профессор кафедры урологии им. Е.В. Шахова<sup>1,2</sup>;  
Е.В. Гребенкин, клинический ординатор кафедры урологии им. Е.В. Шахова<sup>1</sup>;  
Д.П. Почтин, врач-уролог<sup>2</sup>;  
В.И. Бредихин, д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник<sup>3</sup>;  
В.А. Каменский, д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Нижегородская государственная медицинская академия, Н. Новгород, 603005,  
пл. Минина и Пожарского, 10/1;

<sup>2</sup>Областная клиническая больница им. Н.А. Семашко, Н. Новгород, 603126, ул. Родионова, 190;

<sup>3</sup>Институт прикладной физики Российской академии наук, Н. Новгород, 603155, ул. Ульянова, 46

**Цель исследования** — оценить возможности разработанного способа контактной литотрипсии с применением сильно разогретого дистального конца волоконного световода со светопоглощающим покрытием, обеспечивающего контролируруемую фрагментацию камней мочевой системы.

**Материалы и методы.** В качестве объектов использованы послеоперационные образцы почечных конкрементов. Для дробления камней мочевой системы применяли типичный диодный лазер на длине волны 0,97 мкм, работающий в непрерывном режиме с мощностью 15 Вт. Для контактной литотрипсии в качестве сильно поглощающего слоя на дистальном конце световода из многомодового кварцевого волокна,  $d=550$  мкм, использовали раствор микрочастиц графита в кремнийорганическом лаке. К области контакта раскаленного световода (до 2000°K) с конкрементом подводили газ CO<sub>2</sub>, что позволяло оптимизировать процесс высокотемпературного окисления графита в ходе деструкции конкрементов. Дробление лазером осуществляли *ex vivo* в физиологическом растворе и без жидкости путем непосредственного контакта с камнем.

**Результаты.** Крупная фрагментация камня была достигнута режимом карбонизации с механическим разрушением поверхности высокой температурой торца оптоволокна. Время дробления камня зависело от его плотности, размера в поперечнике и составляло от 10 до 80 с. Наибольший размер камней в поперечнике — от 6 до 21 мм, рентгеновская плотность камней — 158–1587 HU. Конкременты с рентгеновской плотностью более 1400 HU дроблению в жидкости не поддавались, однако в атмосферном воздухе фрагментация происходила успешно.

**Заключение.** Использование высокопоглощающего покрытия наконечника лазера с сильно разогретым концом позволяет создать новый механизм крупной фрагментации камней и обеспечить разлом мочевого камня по намеченной линии. Такой способ исключает мелкую фрагментацию камней, тем самым дает возможность профилактировать интраоперационную микробную диссеминацию ткани почки из биопленок потенциально инфицированных камней. Новые возможности позволяют использовать разнообразные типы лазеров в качестве литотриптера, значительно упрощают и удешевляют технологию их изготовления.

**Ключевые слова:** лазерная литотрипсия; мочекаменная болезнь; инфицированные конкременты почечных камней.

**Как цитировать:** Streltsova O.S., Grebenkin E.V., Pochtin D.P., Bredikhin V.I., Kamensky V.A. Contact laser lithotripsy using strongly heated distal tip of optic fiber. Modern Tehnologies in Medicine 2017; 9(4): 137–142, <https://doi.org/10.17691/stm2017.9.4.17>

English

## Contact Laser Lithotripsy Using Strongly Heated Distal Tip of Optic Fiber

O.S. Streltsova, MD, DSc, Professor, E.V. Shakhov Urology Department<sup>1, 2</sup>;  
E.V. Grebenkin, Resident, E.V. Shakhov Urology Department<sup>1</sup>;

**Для контактов:** Стрельцова Ольга Сергеевна, e-mail: [strelzova\\_uro@mail.ru](mailto:strelzova_uro@mail.ru)

D.P. Pochtin, Urologist<sup>2</sup>;  
 V.I. Bredikhin, DSc, Leading Researcher<sup>3</sup>;  
 V.A. Kamensky, DSc, Leading Researcher<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Nizhny Novgorod State Medical Academy, 10/1 Minin and Pozharsky Square, Nizhny Novgorod, 603005, Russian Federation;

<sup>2</sup>N.A. Semashko Nizhny Novgorod Regional Hospital, 190 Rodionova St., Nizhny Novgorod, 603126, Russian Federation;

<sup>3</sup>Institute of Applied Physics, Russian Academy of Sciences, 46 Ulyanova St., Nizhny Novgorod, 603155, Russian Federation

**The aim of the study** was to evaluate the developed technique of contact lithotripsy using a strongly heated distal tip of a fiber providing controlled fragmentation of urinary stones.

**Materials and Methods.** Postoperative kidney stones were used as research objects. For renal calculi fragmentation we applied a standard 0.97 μm diode laser with a continuous wave laser regime, laser power 15 W. As a strongly absorbing coating (SAC), we used a solution of graphite carbon microparticles in silicone varnish. SAC was localized at the distal end of the light guide of multimode quartz fiber, d=550 μm. The contact zone of the light guide with a stone (heated to 2000°K) was smeared with a CO<sub>2</sub> gas stream, which made it possible to optimize the high-temperature oxidation of graphite in the destruction of stones. Laser fragmentation was performed *ex vivo* in physiological saline and in liquid-free conditions by means of direct calculus contact.

**Results.** Large calculus fragmentation was achieved through the carbonization with mechanical destruction of the surface by high temperature of an optical fiber tip. Calculus fragmentation time depended on stone density, cross-sectional dimension, and was from 10 to 80 s. Maximum cross-sectional dimension of calculi was from 6 to 21 mm, X-ray calculus density being 158–1,587 HU. Calculi with X-ray density of over 1,400 HU were unaffected by fragmentation in liquid, however, fragmentation in the atmospheric air proceeded successfully.

**Conclusion.** The use of SAC of the laser fiber tip enables to develop new calculus fragmentation mechanism and provide the break of a stone along the marked line. The technique excludes small stone fragmentation, therefore enables to prevent intra-operative microbial dissemination of renal tissue from biofilms of potentially infected calculi. New opportunities enable to use various laser types as a lithotripter, and significantly simplify and cheapen the technology of their manufacture.

**Key words:** laser lithotripsy; urolithiasis; infected nephroliths.

Эндоскопические лазерные технологии в лечении мочекаменной болезни, выявляемой приблизительно у 30% урологических больных хирургического профиля [1], приобретают все большую популярность. Однако десятилетия их применения выявили недостаток, один из которых — осложнение контактной лазерной литотрипсии в виде развития инфекционно-воспалительного процесса в почках из-за бактериальной диссеминации флоры из биопленок камней [2]. В исследовании, проведенном D. Margel с соавт. [3], у 25% пациентов, перенесших перкутанную нефролитолапаксию, стерильная моча сочеталась с позитивной каменной культурой. По данным российских авторов, в 41,3% случаев микроорганизмы обнаруживаются в камне при стерильной моче [4]. В исследовании [5] среди 303 человек, которым была выполнена перкутанная нефролитотомия, у 27,4% пациентов зарегистрирован синдром системной воспалительной реакции, из этих 27,4% у 7,6% диагностирован сепсис. T. Yang с соавт. [6] среди 164 пациентов, перенесших перкутанную нефролитотрипсию, у 27,4% обнаружили в послеоперационном периоде синдром системной воспалительной реакции, а у 12,2% — лихорадку. Разрушение камня во время операции может явиться пусковым механизмом активации роста микроорганизмов, интегрированных в биопленку.

Приведенные факты обусловили поиск новых подходов и методик дробления камней почки с целью решения проблемы послеоперационных инфекционно-воспалительных процессов. Одним из вариантов профилактики может стать использование новых механизмов и режимов лазерного воздействия, обеспечивающих контролируемую фрагментацию конкрементов без разбрасывания микробного содержимого в чашечно-лоханочной системе почки и ограничивающих распространение микрофлоры из биопленок.

Существенным недостатком известных способов лазерного дробления камней мочевой системы служат и ограничения (особые режимы работы), накладываемые на тип используемых лазеров, конструкции которых зачастую дорогостоящие и сложные в изготовлении. В последние годы для повышения эффективности резки мягких биотканей и зубов стали предлагать различного рода конверторы на рабочий торец оптического волокна с лазерным излучением с целью изменения режимов воздействия излучения на ткань [7–9]. Оптическое волокно обладает механической гибкостью, при этом его кварцевая сердцевина очень прочная и может выдерживать высокие температуры, которые возникают в процессе контактного взаимодействия с камнем на торце. Слой с высоким светопоглощением на торце оптоволокна позволяет

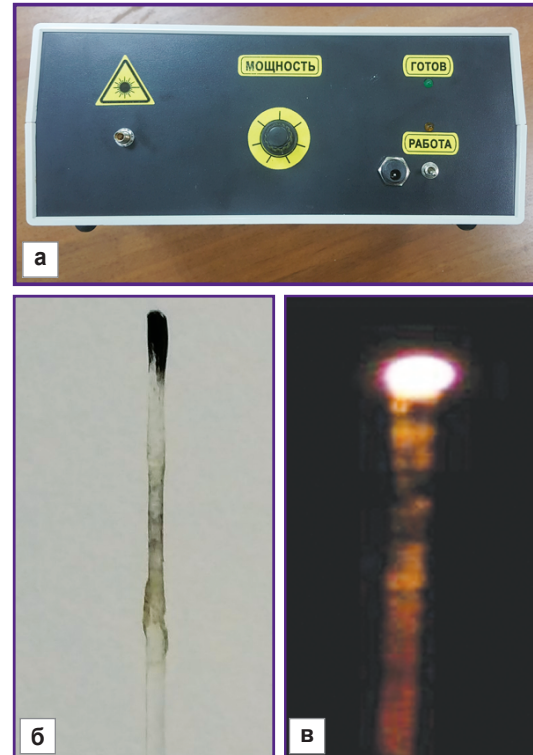
поддерживать в зоне контакта с камнем высокую температуру [10].

**Цель исследования** — оценить возможности разработанного способа контактной литотрипсии с применением сильно разогретого дистального конца волоконного световода со светопоглощающим покрытием, обеспечивающего контролируруемую фрагментацию камней мочевой системы.

**Материалы и методы.** В качестве объектов использованы послеоперационные образцы почечных конкрементов размером от 6 до 21 мм с различной рентгеновской плотностью ( $n=32$ ): целые камни после нефролитозэкстракции, пиелолитотомии, нефрэктомии, цистолитозэкстракции. Рентгеновскую плотность камней определяли после их извлечения методом компьютерной томографии и выражали в единицах Хойнсфилда (HU). Кроме того, использовали параметр HD (Hounsfield density), который рассчитывается как отношение HU к наибольшему поперечному размеру камня, поскольку известно, что рентгеновская плотность камней — HU — зависит от размера камня [11], а величина HD позволяет нивелировать эту зависимость [12, 13]. Дробление лазером осуществляли *ex vivo* в физиологическом растворе (0,9% раствор хлорида натрия) и без жидкости путем непосредственного контакта с камнем.

Для дробления камней мочевой системы применяли диодный лазер на длине волны 0,97 мкм (Институт прикладной физики Российской академии наук, Россия) (рис. 1, а), работающий в непрерывном режиме с мощностью 15 Вт. Для контактной литотрипсии в качестве сильно поглощающего покрытия на дистальном конце световода из многомодового кварцевого волокна,  $d=550$  мкм, использовали раствор микрочастиц графита в кремнийорганическом лаке — технология SAC (strongly absorbing coating) [10]. Для получения сильно поглощающего слоя дистальный конец световода опускали в данный раствор и подсушивали в течение нескольких секунд при малой мощности излучения — около 1 Вт (рис. 1, б, в).

Конкременты для дробления помещали в физиологический раствор. К области контакта раскаленного

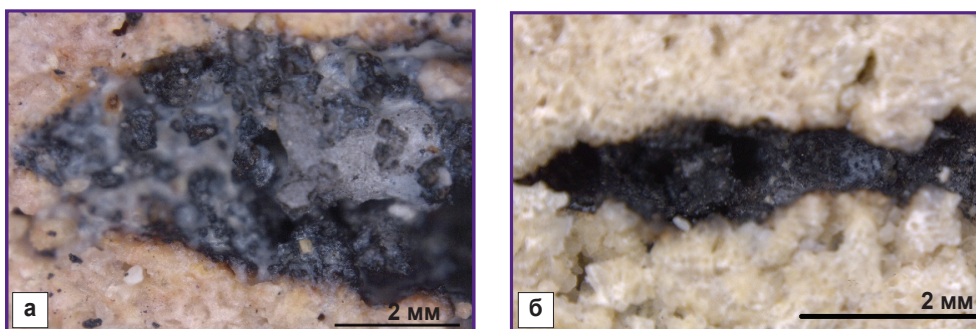


**Рис. 1.** Диодный лазер на длине волны 0,97 мкм (Институт прикладной физики Российской академии наук, Россия):

а — внешний вид; б — световод с нанесенным на дистальный его конец светопоглощающим покрытием; в — боковое свечение световода обусловлено рассеянием света от раскаленного торца

световода (до 2000°K) [8] с конкрементом подвели газ  $CO_2$ , что позволяло оптимизировать процесс высокотемпературного окисления графита в ходе деструкции конкрементов.





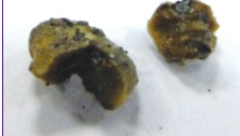
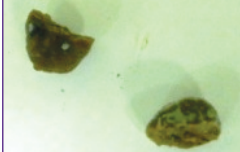




**Результаты.** Крупная фрагментация камня была достигнута с использованием режима карбонизации с механическим разрушением поверхности высокой температурой торца оптоволоконка (рис. 2).



**Рис. 2.** Фотографии шлифа фосфатного камня при воздействии раскаленным световодом диаметром 550 мкм:

а — при воздействии на сухой камень в атмосфере; б — воздействие на камень в жидкой среде (физиологический раствор)

Примеры результатов дробления камней предложенным способом

Химический тип камня	Максимальный размер до дробления, мм	Рентгеновская плотность		Время рассечения, с	Фотография камня
		HU	HD, HU/мм		
Магний, фосфат*	10	158	15,80	24 (в жидкости)	
Магний, фосфат	16	355	22,19	13 (в жидкости)	
Магний, фосфат	9	343	38,11	10 (в жидкости)	
Фосфат, кальций, магний, оксалаты (в атмосфере)	21	1587	75,57	60 (в воздухе)	
Магний, кальций, оксалаты (в атмосфере)	14	1424	101,7	25 (в воздухе)	
Магний, кальций, фосфат	10	1060	106,00	60 (в жидкости)	
Магний, кальций, оксалаты*	20	1070	53,50	80 (в жидкости)	
Оксалаты, кальций	9	1000	111,11	30 (в жидкости)	
Фосфат	17	209	12,29	10 (в жидкости)	
Магний, ураты	6	342	57,00	12 (в жидкости)	

\*Момент начала фрагментации указан стрелкой.

Существование жидкой среды обеспечивает локальность температурного воздействия, уменьшая зону термического поражения в несколько раз, что чрезвычайно важно для работы в условиях полостной системы почки. Обнаружено, что при воздействии на камень, помещенный в жидкость, зона карбонизации существенно меньше, чем при воздействии на высушенный в атмосферном воздухе камень: диаметры карбонизированных каналов могут отличаться более чем в 8 раз (см. таблицу).

Время дробления камня зависело от плотности камня, его размера в поперечнике и составляло 10–80 с. Наибольший размер используемых в исследовании камней в поперечнике — 4–21 мм. Рентгеновская плотность камней, подвергнутых фрагментации, составляла 158–1587 HU, значение HD — от 12,29 до 356,00 HU/мм соответственно.

**Обсуждение.** В основе дорогостоящего традиционно (более 20 лет) применяемого для литотрипсии гольмиевого лазера на иттриево-алюминиевом гранате (Ho:YAG, США) лежит вапоризация воды внутри камня. Дальнейшая передача энергии приводит к массивному растрескиванию камня из-за давления образовавшегося пара. Для этой методики характерно дробление камней до мелких фрагментов [14]. Разрушение потенциально инфицированного камня во время операции может явиться пусковым механизмом активации роста и рассеивания микроорганизмов.

В нашей клинике урологии наряду с гольмиевым лазером применяется контактная пневматическая литотрипсия, которая также приводит к механическому растрескиванию камня на разнокалиберные фрагменты. Наличие у больных послеоперационных осложнений в виде синдрома системной воспалительной реакции сподвигло нас на поиск других методик дробления почечных камней.

Использование сильно поглощающего покрытия наконечника лазера (микрочастиц графита в кремнийорганическом лаке) позволило нам исключить разрушение камня с разбрасыванием мелких осколков током ирригационной жидкости по полостной системе почки и обеспечить контролируемый разлом по намеченной линии. Новым в разработанном способе контактной литотрипсии является то, что на дистальный конец световода наносится сильно поглощающий слой, в результате чего фрагментация конкремента производится за счет высокой температуры, локализованной в месте сильно поглощающего свет покрытия на торце оптоволокну, т.е. происходит проплавление конкремента.

Конкременты с рентгеновской плотностью более 1400 HU дроблению в воде поддаются с трудом, однако в атмосферном воздухе их фрагментация выполняется успешно. В то же время доказано, что потенциально инфицированные камни — струвиты, апатиты, ураты аммония и другие [15] — характеризуются рентгеновской плотностью менее 1400 HU [16, 17], что

достаточно для их фрагментации примененным нами способом.

Предложенная методика дает возможность осуществить контролируемое дробление потенциально инфицированных камней в полости почки до фрагментов, которые затем могут быть извлечены механически через канал нефроскопа или амплитрубку в процессе чрескожной нефролитотрипсии. Это позволяет обеспечить минимальную микробную диссеминацию ткани почки в процессе эндоскопической операции содержимым биопленок, связанных с камнями. Предполагается, что под действием высокой температуры в месте контакта световода с камнем должен уменьшаться выход бактериальной флоры из биопленок, содержащихся в камне. Предложенный способ позволяет использовать разнообразные типы лазеров в качестве литотриптера, значительно упрощает и удешевляет технологию их изготовления.

**Заключение.** Использование высокопоглощающего покрытия наконечника лазера позволяет обеспечить разлом мочевого камня при литотрипсии по намеченной линии и исключить его мелкую фрагментацию, тем самым профилактировать интраоперационную микробную диссеминацию ткани почки из биопленок потенциально инфицированных камней.

**Финансирование исследования.** Работа поддержана грантом Российского научного фонда №14-15-00840 П.

**Конфликт интересов** отсутствует.

## Литература/References

1. Антонов А.В. Малоинвазивные методы лечения мочекаменной болезни. Урологические ведомости 2013; 3(1): 33–38. Antonov A.V. Minimally invasive treatments for kidney stones disease. *Urologicheskie vedomosti* 2013; 3(1): 33–38.
2. Didenko L.V., Tolordava E.R., Perpanova T.S., Shevlyagina N.V., Borovaya T.G., Romanova Yu.M., Cazzaniga M., Curia R., Milani M., Savoia C., Tatti F. Electron microscopy investigation of urine stones suggests how to prevent post-operation septic complications in nephrolithiasis. *J Appl Med Sci* 2014; 3(4): 19–34.
3. Margel D., Ehrlich Y., Brown N., Lask D., Livne P.M., Lifshitz D.A. Clinical implication of routine stone culture in percutaneous nephrolithotomy — a prospective study. *Urology* 2006; 67(1): 26–29, <https://doi.org/10.1016/j.urology.2005.08.008>.
4. Палагин И.С., Сухорукова М.В., Дехнич А.В., Эйдельштейн М.В., Шевелев А.Н., Гринев А.В., Перпанова Т.С., Козлов Р.С. Современное состояние антибиотикорезистентности возбудителей внебольничных инфекций мочевых путей в России: результаты исследования «ДАРМИС» (2010–2011). Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия 2012; 14(4): 280–302. Palagin I.S., Sukhorukova M.V., Dekhnic A.V., Edelstein M.V., Shevelev A.N., Grinyov A.V., Perepanova T.S., Kozlov R.S. Current state of antibiotic resistance of pathogens causing community-acquired urinary tract infections in Russia:

“DARMIS” study (2010–2011). *Klinicheskaya mikrobiologiya i antimikrobnaya khimioterapiya* 2012; 14(4): 280–302.

5. Koras O., Bozkurt I.H., Yonguc T., Degirmenci T., Arslan B., Gunlusoy B., Aydogdu O., Minareci S. Risk factors for postoperative infectious complications following percutaneous nephrolithotomy: a prospective clinical study. *Urolithiasis* 2015; 43(1): 55–60, <https://doi.org/10.1007/s00240-014-0730-8>.

6. Yang T., Liu S., Hu J., Wang L., Jiang H. The evaluation of risk factors for postoperative infectious complications after percutaneous nephrolithotomy. *Biomed Res Int* 2017; 2017: 4832051, <https://doi.org/10.1155/2017/4832051>.

7. Malskat W.S., Poluektova A.A., van der Geld C.W., Neumann H.A., Weiss R.A., Bruijninx C.M., van Gemert M.J. Endovenous laser ablation (EVLA): a review of mechanisms, modeling outcomes, and issues for debate. *Lasers Med Sci* 2013; 29(2): 393–403, <https://doi.org/10.1007/s10103-013-1480-5>.

8. Bredikhin V., Kamensky V., Sapogova N., Elagin V., Shakhova M., Snopova L., Bityurin N. Indirect laser surgery. *Applied Physics A* 2016; 122(3): 181, <https://doi.org/10.1007/s00339-016-9734-2>.

9. Belikov A.V., Skrypnik A.V., Kurnyshev V.Y., Shatilova K.V. Experimental and theoretical study of the heating dynamics of carbon-containing optothermal fibre converters for laser surgery. *Quantum Electronics* 2016; 46(6): 534–542, <https://doi.org/10.1070/qel16134>.

10. Бредихин В.И., Битюрин Н.М., Каменский В.А., Смирнова Л.А., Саломатина Е.В., Стрельцова О.С., Почтин Д.П. Способ контактной литотрипсии. Патент РФ

2604800. 2015. Bredikhin V.I., Bityurin N.M., Kamenskiy V.A., Smirnova L.A., Salomatina E.V., Strel'tsova O.S., Pochtin D.P. *Method of contact lithotripsy*. Patent RU 2604800. 2015.

11. Demiray Ö., Cüce F., Çevik E., Çataloğlu B., Kalemci S. Could spot urine analysis of calcium and uric acid help predict density of urinary stone in computerized tomography? A preliminary study. *Minerva Urol Nefrol* 2016; 68(4): 342–347.

12. Motley G., Dalrymple N., Keesling C., Fischer J., Harmon W. Hounsfield unit density in the determination of urinary stone composition. *Urology* 2001; 58(2): 170–173, [https://doi.org/10.1016/s0090-4295\(01\)01115-3](https://doi.org/10.1016/s0090-4295(01)01115-3).

13. Shahnani P.S., Karami M., Astone B., Janghorbani M. The comparative survey of Hounsfield units of stone composition in urolithiasis patients. *J Res Med Sci* 2014; 19(7): 650–653.

14. Teichman J.M., Vassar G.J., Bishoff J.T., Bellman G.C. Holmium: YAG lithotripsy yields smaller fragments than lithoclast, pulsed dye laser or electrohydraulic lithotripsy. *J Urol* 1998; 159(1): 17–23, [https://doi.org/10.1016/S0022-5347\(01\)63998-3](https://doi.org/10.1016/S0022-5347(01)63998-3).

15. Türk C., Knoll T., Petrik A., Sarica K., Straub M., Seitz C. *Guidelines on urolithiasis*. European Association of Urology; 2011.

16. Kuwahara M., Kageyama S., Kurosu S., Orikasa S. Computed tomography and composition of renal calculi. *Urol Res* 1984; 12(2): 111–113, <https://doi.org/10.1007/bf00257175>.

17. Li X.-H., Zhao R., Liu B., Yu Y.-Q. Determination of urinary stone composition using dual-energy spectral CT: initial in vitro analysis. *Clin Radiol* 2013; 68(7): e370–e377, <https://doi.org/10.1016/j.crad.2012.11.022>.