

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ АВТОНОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯТОРОВ ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОГО ТРАКТА

Г.Ц. Дамбаев, С.Р. Баширов, О.С. Попов, А.Г. Мартусевич✉

Сибирский государственный медицинский университет,
Томск, Российская Федерация

Аннотация

В начале 1990-х гг. коллективом ученых Томского медицинского института в составе В.В. Пекарского, Г.Ц. Дамбаева, О.С. Попова и А.Г. Мартусевича совместно с сотрудниками Томского института автоматизированных систем управления и радиоэлектроники В.Ф. Агафонниковым и С.Ф. Глушчуком были созданы автономные электростимуляторы желудочно-кишечного тракта (ЖКТ). Они представляют металлическую капсулу размером 22 × 11 мм овально-сферической формы, внутри которой герметично размещены блок питания из элементов СЦ-21 и специальная гибридная микросхема, способная генерировать прямоугольные электрические импульсы, которые активно влияют на моторно-эвакуаторную функцию пищеварительного тракта.

Появление в те годы в практическом здравоохранении подобного медицинского изделия на несколько десятилетий опередило развитие микроэлектроники в медицине. Миниатюрная капсула вводится в пищеварительный тракт пациента путем обычного проглатывания. Попадая в ЖКТ, капсула начинает генерировать физиологически адаптированные для организма человека электрические импульсы, принимая на себя роль «искусственного водителя ритма» перистальтикой пищеварительного тракта. Выполнив поставленную задачу, капсула естественным путем, во время акта дефекации, покидает организм.

На сегодняшний день из подобных многочисленных медицинских изделий можно назвать эндовидеокапсулу, созданную Gavriel Iddan – инженером отдела электрооптических конструкций научно-исследовательской группы Министерства обороны Израиля.

Автономные электростимуляторы ЖКТ имеют широкое распространение. Сегодня они выпускаются и с успехом применяются во многих странах мира. Появилось большое количество аналогов, придуманы новые названия: «Электронная таблетка», «Кремлевская таблетка», «Эректрон» и т.д. Но в основе всех этих изделий заложены идеи томских ученых.

Ключевые слова: электростимуляторы, желудочно-кишечный тракт, послеоперационный период

Конфликт интересов: авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Для цитирования: Дамбаев Г.Ц., Баширов С.Р., Попов О.С., Мартусевич А.Г. История создания автономных электростимуляторов желудочно-кишечного тракта. Вопросы реконструктивной и пластической хирургии. 2022. Т. 25, №3. С. 86–91. doi 10.52581/1814-1471/82/11

HISTORY OF THE CREATION OF AUTONOMOUS ELECTRICAL STIMULATORS OF THE GASTROINTESTINAL TRACT

G.Ts. Dambaev, S.R. Bashirov, O.S. Popov, A.G. Martusevich✉

Siberian State Medical University,
Tomsk, Russian Federation

Abstract

In the early 1990s, a team of scientists from the Tomsk Medical Institute, consisting of V.V. Pekarsky, G.Ts. Dambaev, O.S. Popov, and A.G. Martusevich, together with employees of the Tomsk Institute of Automated Control Systems and Radioelectronics, V.F. Agafonnikov, S.F. Glushchuk, created autonomous electrical stimulators of the gastrointestinal tract. They represent a 22 × 11 mm oval-spherical metal capsule, inside which a power supply unit made of SC-21 elements and a special hybrid microcircuit capable of generating rectangular

electrical impulses that actively affect the motor-evacuation function of the digestive tract are hermetically placed.

The appearance of such a medical device in practical healthcare in those years was several decades ahead of the development of microelectronics in medicine. A miniature capsule is inserted into the patient's digestive tract by normal ingestion. Once in the gastrointestinal tract, the capsule begins to generate physiologically adapted electrical impulses for the human body, taking on the role of an "artificial rhythm driver" by the peristalsis of the digestive tract. Having completed the task, the capsule naturally leaves the body during the act of defecation.

To date, of the few such medical devices, an endovideocapsule can be called, created by Gavriel Iddan, an engineer of the Department of General Surgery of electro-optical structures of the research group of the Israel Ministry of Defense.

Autonomous electrical stimulators of the gastrointestinal tract have spread widely across the planet. Today they are produced and successfully used in many countries of the world. A large number of analogues appeared, new names were invented: "Electronic tablet", "Kremlin tablet", "Erectron", etc. But, all these products are based on the ideas of Tomsk scientists.

Keywords: *electrical stimulators, gastrointestinal tract, postoperative period*

Conflict of interest: the authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this paper.

Financial disclosure: no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

For citation: Dambaev G.Ts., Bashirov S.R., Popov O.S., Martusevich A.G. History of the creation of autonomous electrical stimulators of the gastrointestinal tract. *Issues of Reconstructive and Plastic Surgery*. 2022;25(3):86–91. doi 10.52581/1814-1471/82/11

С середины прошлого столетия, в связи с бурным развитием физиологии пищеварительного тракта, ученые всего мира проявляли огромный интерес к влиянию на моторно-эвакуаторную функцию желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) посредством искусственных электрических импульсов. На первых этапах исследования проводились в эксперименте. Так, П.Г. Богач (1961) и С.С. Полтырев (1964) показали, что слабое электрическое раздражение стенки прямой кишки усиливает моторно-эвакуаторную функцию желудка [1, 2]. П.П. Гончаров (1945), Г.В. Николаев (1953), L. Nielubowicz и соавт. (1960), Л.Л. Николаев (1966) в хронических опытах на собаках обнаружили, что раздражение участка кишечника сильным электрическим током вызывает торможение других его участков [3–6]. Во всех приведенных выше исследованиях применялся электрический ток, получаемый от индукционной катушки. При этом импульсы не имели строгой прямоугольной формы, как наиболее физиологичной и эффективной, но, несмотря на это, применение индукционного тока, диатермии и гальванизации области желудка при различных патологических состояниях в виде пареза нашли место в разработках некоторых авторов [7].

В 1964 г. J. Венуо и соавт. в эксперименте на животных применили ток частотой от 60 до 80 импульсов в секунду и напряжением 0,5–15 В и получили распространение перистальтической волны по кишечнику [8]. З.В. Кобахидзе (1965) в эксперименте исследовал воздействие прямоугольных электрических импульсов на пери-

стальтику желудка и обнаружил, что самая высокая возбудимость имеется в пилорическом отделе желудка, меньше – в фундальном и кардиальном. При раздражении кардиального отдела появлялись сокращения местного характера, при раздражении фундального и пилорического отделов происходили сокращения всего желудка [9].

А.А. Вишнеvский и соавт. (1966) в опытах на собаках установили, что при электростимуляции кишечника возникающая в области приложения электродов волна перистальтики имеет ограниченную зону распространения, и поэтому не всегда удавалось обеспечить распространение волны перистальтики по всему кишечнику [10]. По мнению А.В. Вишнеvского и соавт. (1978), электростимуляция, изменяя функциональное состояние нервно-мышечного аппарата кишечника, приводит к усилению его двигательной активности, которая способна продолжаться значительно дольше, чем время действия электрического тока. При этом эффект стимуляции выражается в увеличении суммарной моторной активности ЖКТ, что обеспечивает ускоренную эвакуацию содержимого из него [11]. Ю.М. Гальперин и Г.Г. Рогацкий (1971) однозначно считали, что показанием к применению стимуляции моторной функции ЖКТ служат нарушения процесса эвакуации [12].

На фоне подобных бурно развивающихся исследований появление в 1973 г. кандидатской диссертации Г.Ц. Дамбаева на тему «Механо-электрический метод регистрации моторной функции желудочно-кишечного тракта» [13]

было как нельзя кстати. Предложив уникальный прибор на основе петли из тонкой резиновой трубки, заполненной графитовым порошком, через который пропускался низковольтный электрический ток, Георгий Цыренович получил возможность регистрировать перистальтику полых органов пищеварительного тракта. Учитывая тот факт, что тонкая резиновая петля не нарушала проходимость исследуемого органа, в отличие от популярного в те времена метода баллонокинезиометрии, автор получил возможность тестировать влияние различных факторов на перистальтику, в том числе и электрических импульсов различной конфигурации.

Так была заложена основа для создания уникального медицинского изделия под названием «Автономный электростимулятор желудочно-кишечного тракта». Для решения конструктивных и технических задач по разработке нового изделия был сформирован коллектив ученых из представителей двух томских вузов: Томского медицинского института (ТМИ) и Томского института автоматизированных систем управления и радиоэлектроники (ТИАСУР), а также НИИ полупроводников.

Огромным подспорьем в создании автономного электростимулятора служило появление в те годы миниатюрных источников питания типа СЦ-21, широко применяемых в быту для наручных часов. Технология выращивания многослойных кремневых микросхем успешно осуществлялась учеными ТИАСУРа под руководством профессора В.Ф. Агафонникова.

С целью оптимизации параметров электрических импульсов, создания оптимальной конструкции глотаемого варианта электростимулятора на кафедре общей хирургии ТМИ под руководством заведующего кафедрой профессора В.В. Пекарского были проведены масштабные научные исследования, основную часть которых блистательно выполнил ученик В.В. Пекарского и Г.Ц. Дамбаева Олег Сергеевич Попов. На основе проведенных им исследований были решены ряд сложных задач, начиная от выбора оптимального материала для изготовления капсулы стимулятора. Рассматривалось несколько вариантов: в качестве возможных электродных материалов предлагались стеклоуглерод, титан и нержавеющая хромоникелевая сталь. При выборе материала для электродов необходимо было учитывать требования токсикологической безопасности, малой величины электродной поляризации, а главное, минимальной электрохимической коррозии в средах ЖКТ. Наряду с этим при разработке базовой модели автономного электростимулятора необходимо было создать органичную обтекаемую форму – для свободного, травмобезопасного перемещения по пищевари-

тельному тракту; герметичный корпус – в целях возможности проведения дезинфекции и стерилизации; биологической нейтральности, минимальные габариты и массу; надежное функционирование; электробезопасность; минимальное потребление энергии от источника электропитания; возможность длительного (не менее года) хранения в режиме ожидания с сохранением ресурса элементов электропитания. Автономный источник электропитания должен был обладать достаточной энергетической емкостью, малым саморазрядом и не выделять токсических продуктов.

Самым подходящим материалом для изготовления корпуса электростимулятора оказалась нержавеющая хромоникелевая сталь марки 12Х18Н9: стойкая к электрохимической коррозии и поляризации в различных средах пищеварительного тракта, достаточно пластичная для изготовления полусфер корпуса методом холодной штамповки. Полусферы закреплялись на полистироловой втулке, являющейся диэлектриком между электродами. В результате уникальных инженерных решений по размещению внутри глотаемой капсулы интегральной микросхемы и блока питания был создан автономный электростимулятор ЖКТ, схема которого представлена на рис. 1.

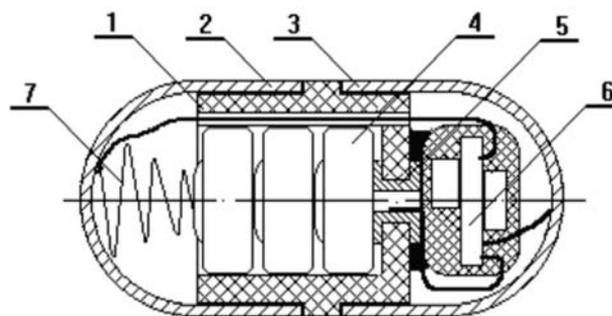


Рис. 1. Автономный электростимулятор желудочно-кишечного тракта: 1 – втулка; 2 – электрод (-); 3 – электрод (+); 4 – элемент питания СЦ-21; 5 – заклепка; 6 – микросхема; 7 – пружина, поджимающая элементы питания

Fig. 1. Autonomous electrical stimulator of the gastrointestinal tract: 1 – sleeve; 2 – electrode (-); 3 – electrode (+); 4 – battery СЦ-21; 5 – rivet; 6 – microcircuit; 7 – spring, pressing the batteries

Следующей достаточно сложной задачей являлось определение оптимальных параметров электрических импульсов, интегрированных в микросхему. С этой целью на базе Центральной научно-исследовательской лаборатории ТМИ была проведена серия исследований, посвященных изучению различных вариантов электрических импульсов на моторику ЖКТ у подопытных животных, как в норме, так и в условиях экспериментального перитонита. Исследования прово-

дили на собаках с предварительно выведенными двумя фистулами тонкого кишечника по Тири-Веллу. Моторную активность кишечника регистрировали с помощью механо-электрического датчика Г.Ц. Дамбаева, который позволял наглядно наблюдать эффект электрической стимуляции. Типичная механоэнтерограмма на фоне электро-стимуляции представлена на рис. 2.

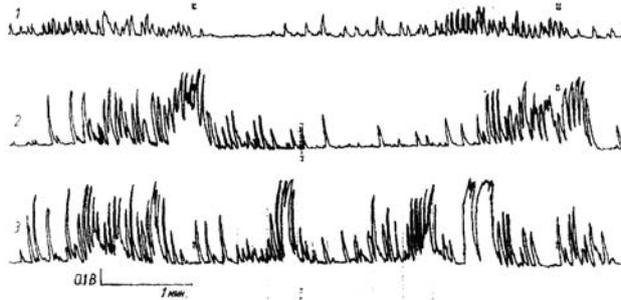


Рис. 2. Типичная механоэнтерограмма у собаки в условиях хронического опыта Тири-Велла: 1 – до стимуляции; 2 – во время электростимуляции, 3 – период последействия

Fig. 2. Typical mechanoenterogram in a dog under the conditions of the chronic Tiri-Vell experiment: 1 – before stimulation; 2 – during electrical stimulation, 3 – period of aftereffect

По результатам 68 экспериментальных исследований было установлено, что самой оптимальной для восстановления моторики, как тонкого, так и толстого кишечника, является электрическая стимуляция импульсами прямоугольной формы, длительностью 5–7 мс, периодом следования импульсов 20–28 мс. При этом пачки импульсов общей длительностью 320–450 мс должны следовать с периодом 2560–3600 мс в течение 40–58 с, повторяя следующие уровни модуляции через 80–116 с и завершаясь достаточно длительной стимуляцией на протяжении 1310–1980 с, имея период задержки 2620–3780 с. Оптимальной амплитудой для стимулирующих импульсов определены значения от 6 до 10 мА, в зависимости от электрического сопротивления кишечного химуса. Вместе с тем, было установлено, что длительная, непрерывная электростимуляция более 30 мин на определенном участке пищеварительного тракта, напротив, способна тормозить перистальтику кишечника.

Графическая архитектура подобной модуляции импульсов показана на рис. 3.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Богач П.Г. Механизмы нервной регуляции моторной функции тонкого кишечника. Киев, 1961. 121 с.
2. Полтырев С.С. Патологическая физиология в пищеварении // Руководство по патологической физиологии. М., 1964. Т. 4. С. 10–83.
3. Гончаров П.П. О висцеральных рефlekсах кишечника. Л.: Медицина, 1945. 143 с.
4. Николаев Г.В. Изменения моторно-секреторной функции тонкого кишечника под влиянием интерорецептивных раздражений слепой кишки // Бюллетень экспериментальной биологии. 1953. Т. 36, № 3. С. 5–9.

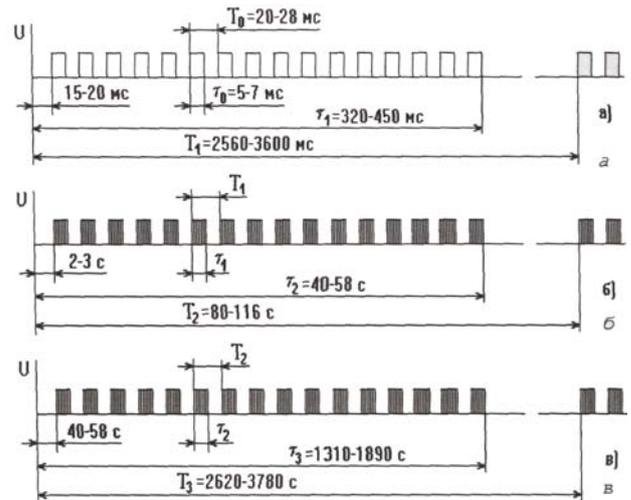


Рис. 3. Графическая архитектура оптимальных параметров электрических импульсов для эффективной стимуляции желудочно-кишечного тракта (T – период следования импульсов, t – длительность импульса)

Fig. 3. Graphic architectonics of the optimal parameters of electrical impulses for effective stimulation of the gastrointestinal tract (T – pulse repetition period, t – pulse duration)

По решению экспертной комиссии Комитета по новой медицинской технике Минздрава СССР, автономный электростимулятор ЖКТ и методики его применения успешно прошли клиническую апробацию в нескольких центральных научно-лечебных учреждениях страны и приказом министра здравоохранения СССР (№58 от 16.01.1985) было разрешено применение электростимулятора в медицинской практике. В 1985 г. начался серийный выпуск данного изделия.

Опираясь на научные достижения в области влияния электрической стимуляции на периодическую деятельность пищеварительного тракта, томские ученые впервые в мире создали и внедрили в практическое здравоохранение уникальный миниатюрный электростимулятор ЖКТ, способный после его проглатывания, при продвижении по пищеварительному тракту в автономном режиме, осуществлять восстановление моторной функции ЖКТ. Наряду с «искусственными водителями» ритма сердца появилась возможность успешно применять «искусственные водители» моторики пищеварительного тракта, изучению которой посвящены фундаментальные исследования профессора Г.Ц. Дамбаева.

5. Nielubowicz L., Folga J., Wieckowska W. Bioelectriczna czynnose jelit. Doniesienie Tymczasowe // Pol. Tyg. lek. 1960. Vol. 1. P. 1077–1083.
6. Николаев Л.А. Связь моторной и эвакуаторной функции тонкого кишечника // Материалы Итоговой научной студенческой конференции 2-го Московского мед. института. М., 1966. С. 43–45.
7. Гольдберг А.Д. Диатермия солнечного сплетения в терапии послеоперационных парезов кишечника // Врач. дело. 1952. № 9. С. 779–782.
8. Benyo J., Tharz M., Fusy F. Electronos intraluminalis duodenum ingerles as a bel mikromotilitasa // Magy. Scbesz. 1964. Vol. 16. P. 282–284.
9. Кобахидзе З.В. Изучение некоторых вопросов моторики желудка в эксперименте методом тензометрии // Моторная функция желудочно-кишечного тракта. Киев, 1965. С. 101–110.
10. Вишневецкий А.А., Лившиц А.В., Ходоров Б.И. Электрическая стимуляция мочевого пузыря в эксперименте // Эксперим. хирургия. 1966. № 5. С. 5–9.
11. Вишневецкий А.А., Лившиц А.В., Виланский М.П. Электростимуляция желудочно-кишечного тракта. М.: Медицина, 1978. 184 с.
12. Гальперин Ю.М., Рogaцкий Г.Г. Взаимоотношения моторной и эвакуаторной функции тонкой кишки при ее электростимуляции // Взаимоотношения моторной и эвакуаторной функции кишечника: сб. науч. трудов. М., 1971. С. 90–108.
13. Дамбаев Г.Ц. Механо-электрический метод регистрации моторной функции желудочно-кишечного тракта: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Томск, 1973. 23 с.

REFERENCES

1. Bogach P.G. *Mehanizmy nervnoy regulyatsii motornoy funktsii tonkogo kischechnika* [Mechanisms of nervous regulation of the motor function of the small intestine]. Kiev, 1961:121 p. (in Russ.).
2. Poltyrev S.S. *Patologicheskaya fiziologiya v pishchevarenii* [Pathological physiology in digestion]. In: *Mnogotomnoye rukovodstvo po patologicheskoy fiziologii. T. 4* [Multivolume guide for pathological physiology. Vol. 4]. Moscow, 1964:10–83 (in Russ.).
3. Goncharov P.P. *O vistseral'nyh refleksah kischechnika* [On the visceral reflexes of the intestine]. Leningrad, Medicine Publ., 1945:143 p. (in Russ.).
4. Nikolayev G.V. *Izmeneniya motorno-sekretornoy funktsii tonkogo kischechnika pod vliyaniem interoretseptivnyh razdrasheniy slepoy kishki* [Changes in the motor-secretory function of the small intestine under the influence of interoreceptive irritations of the caecum]. *Byulleten eksperimental'noy biologii – Bulletin of Experimental Biology*. 1953;36(3):5-9 (in Russ.).
5. Nielubowicz L., Folga J., Wieckowska W. Bioelectriczna czynnose jelit. Doniesienie Tymczasowe. *Pol. Tyg. lek.* 1960;1:1077-1083.
6. Nikolayev L.L. *Svyaz' motornoy i evakuatornoy funktsii tonkogo kischechnika* [Communication of the motor and evacuation functions of the small intestine]. In: *Materialy Itogovoy nauchnoy studencheskoy konferentsii 2-go Moskovskogo med. instituta* [Proceedings of the Final Scientific Student Conference of the 2nd Moscow Medical Institute]. Moscow, 1966:43-45 (in Russ.).
7. Gol'dberg A.D. *Diatermiya solnechnogo spleteniya v terapii posleoperatsionnyh parezov kischechnika* [Solar plexus diathermy in the treatment of postoperative intestinal paresis]. *Vrachebnoye delo*. 1952;9:779-782 (in Russ.).
8. Benyo J., Tharz M., Fusy F. Electronos intraluminalis duodenum ingerles as a bel mikromotilitasa. *Magy. Scbesz.* 1964;16:282-284.
9. Kobakhidze Z.V. *Izucheniye nekotoryh voprosov motoriki zheludka v eksperimente metodom tenzometrii* [The study of some issues of gastric motility in the experiment by the method of tensometry]. In: *Motornaya funktsiya zheludochno-kischechnogo trakta* [Motor function of the gastrointestinal tract]. Kiev, 1965:101-110 (in Russ.).
10. Vishnevsky A.A., Livshits A.V., Khodorov B.I. *Elektricheskaya stimulyatsiya mochevogo puzyrya v eksperimente* [Electrical stimulation of the bladder in the experiment]. *Eksperim. Khirurgiya – Experiment. Surgery*. 1966;5:5-9 (in Russ.).
11. Vishnevskiy A.A., Livshits A.V., Vilyanskiy M.P. *Elektrostimulyatsiya zheludochno-kischechnogo trakta* [Electrical stimulation of the gastrointestinal tract]. Moscow, Meditsine Publ., 1978:184 p. (in Russ.).
12. Galperin Yu.M., Rogatskiy G.G. *Vzaimootnosheniya motornoy i evakuatornoy funktsii tonkoy kishki pri yeye elektrostimulyatsii* [The relationship of the motor and evacuation function of the small intestine during its electrical stimulation]. In: *Vzaimootnosheniya motornoy i evakuatornoy funktsii kischechnika: sb. nauch. trudov* [Relationship of the motor and evacuation function of the intestine: Sat. scientific works]. Moscow, 1971:90-108 (in Russ.).
13. Dambayev G.Ts. *O mehano-elektricheskom metode izucheniya motornoy funktsii zheludochno-kischechnogo trakta v eksperimente i klinike. Avtoref. dis. kand. med. nauk* [On the mechano-electrical method for studying the motor

function of the gastrointestinal tract in the experiment and in the clinic: Author. Diss. Cand. Med. sci.]. Tomsk, 1973:23 p. (in Russ.).

Сведения об авторах

Дамбаев Георгий Цыренович – заслуженный деятель науки РФ, д-р мед. наук, профессор, член-корреспондент РАН, зав. кафедрой госпитальной хирургии с курсом сердечно-сосудистой хирургии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России (Россия, 634050, г. Томск, ул. Московский тракт, д. 2).

<https://orcid.org/0000-0002-7741-4987>

e-mail: dambaev@vtomske.ru

Баширов Сергей Рафаэлевич – д-р мед. наук, профессор, зав. кафедрой общей хирургии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России (Россия, 634050, г. Томск, ул. Московский тракт, д. 2).

<https://orcid.org/0000-0001-6381-1327>

e-mail: bars-tomsk@rambler.ru

Попов Олег Сергеевич – заслуженный врач РФ, д-р мед. наук, профессор, профессор кафедры общей хирургии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России (Россия, 634050, г. Томск, ул. Московский тракт, д. 2).

<https://orcid.org/0000-0003-4278-6577>

Мартусевич Александр Геннадьевич [✉] - канд. мед. наук, доцент кафедры общей хирургии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России (Россия, 634050, г. Томск, ул. Московский тракт, д. 2).

<https://orcid.org/0000-0001-8115-3428>

e-mail: Mag562005@yandex.ru

Information about the authors

Georgiy Ts. Dambayev, Honored Worker of Science of Russia, Dr. Med. sci., Professor, Corresponding member of RAS, head of the Hospital Surgery Department, Siberian State Medical University (2, Moskovskiy tract st., 634050, Tomsk, Russia).

<https://orcid.org/0000-0002-7741-4987>

e-mail: kaf.gosp.hirurg@ssmu.ru

Sergey R. Bashirov, Dr. Med. sci., Professor, head of the Department of General Surgery, Siberian State Medical University (2, Moskovskiy tract st., 634050, Tomsk, Russia).

<https://orcid.org/0000-0001-6381-1327>

e-mail: bars-tomsk@rambler.ru

Oleg S. Popov, Honored Doctor of the Russia, Dr. Med. sci., Professor, the Department of General Surgery, Siberian State Medical University (2, Moskovskiy tract st., 634050, Tomsk, Russia).

<https://orcid.org/0000-0003-4278-6577>

Alexander G. Martusevich [✉], Cand. Med. sci., Associate Professor, the Department of General Surgery, Siberian State Medical University (2, Moskovskiy tract st., 634050, Tomsk, Russia).

<https://orcid.org/0000-0001-8115-3428>

e-mail: Mag562005@yandex.ru

*Поступила в редакцию 07.04.2022; одобрена после рецензирования 08.06.2022; принята к публикации 03.08.2022
The paper was submitted 07.04.2022; approved after reviewing 08.06.2022; accepted for publication 03.08.2022*