

## Методика проведения испытаний нового типа аппарата вспомогательного кровообращения на основе насоса вязкого трения

© М.О.ЖУЛЬКОВ<sup>1</sup>, А.М. ГОЛОВИН<sup>2</sup>, А.С.ГРЕНАДЕРОВ<sup>3</sup>, Р.В. ЦИРИХОВ<sup>1</sup>, А.К. САБЕТОВ<sup>1</sup>, Х.А. АГАЕВА<sup>1</sup>, С.А. АЛЬСОВ<sup>1</sup>, А.М.ЧЕРНЯВСКИЙ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Центр хирургии аорты, коронарных и периферических артерий, "НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина", ул. Речкуновская, д. 15, Новосибирск, 630055, Российская Федерация

<sup>2</sup>Акционерное общество Научно-производственная компания "ИМПУЛЬС-проект", Горский мкр-р, д. 10, Новосибирск, 630073, Российская Федерация

<sup>3</sup>Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук, Академический пр-т, д. 2/3, Томск, 630070, Российская Федерация

**Обоснование.** На сегодняшний день абсолютно доказана возможность эффективной коррекции полиорганной недостаточности и увеличения продолжительности жизни пациентов с критической сердечной недостаточностью при использовании устройств вспомогательного кровообращения. Разработка отечественных аналогов аппаратов вспомогательного кровообращения является актуальной проблемой на протяжении уже многих десятилетий. Создание данного аппарата требует разработки протокола проведения комплексных медико-биологических исследований биосовместимости и безопасности нового устройства.

**Цель.** Разработка протокола апробации и проведения комплексных медико-биологических исследований биосовместимости нового устройства поддержки кровообращения в остром эксперименте на животных.

**Методы.** Для разработки методики имплантации системы вспомогательного кровообращения (LVAD) в остром эксперименте, в качестве модели были выбраны свиньи породы *mini-pig*, женского пола, весом 40-60 кг. В серии острых экспериментов было выполнено 5 имплантаций дискового насоса в качестве LVAD с максимальным периодом наблюдения 6 часов.

**Результаты.** В ходе проведенной серии острых экспериментов была разработана методика имплантации и доказана принципиальная возможность использования насоса вязкого трения в качестве аппарата вспомогательного кровообращения. Во всех экспериментах ( $n=5$ ) средний уровень свободного гемоглобина не превысил значение 2,6 мг%, что доказывает безопасность механизма работы насоса вязкого трения по отношению к эритроцитам крови. Ни в одном эксперименте не было зафиксировано эпизодов остановки или поломки насоса.

**Заключение.** Таким образом, в ходе проведенной серии острых экспериментов на свиньях породы *mini-pig* был выявлен целый ряд анатомо-физиологических особенностей данного вида животных, значительно усложняющих выполнение хронического наблюдения. Однако, разработанная методика экспериментального испытания LVAD может быть рекомендована к использованию в дальнейших хронических экспериментах на крупных лабораторных животных (телята).

**Ключевые слова:** сердечная недостаточность; механическая поддержка сердца; дисковый насос Тесла; система обхода левого желудочка

## Test Procedure for a New Type of a Ventricular Assist Device Based on a Viscous Friction Pump

© M.O. ZHULKOV<sup>1</sup>, A.M. GOLOVIN<sup>2</sup>, A.S. GRENADEROV<sup>3</sup>, R.V. TSIRIKHOV<sup>1</sup>, A.K. SABETOV<sup>1</sup>, H.A. AGAEVA<sup>1</sup>, S.A. ALSOV<sup>1</sup>, A.M. CHERNYAVSKIY<sup>1</sup>

<sup>1</sup>E.Meshalkin National medical research center of Ministry of Health of the Russian Federation, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup>Joint-stock company Joint Stock Company Scientific-Production Company "IMPULS-project", Novosibirsk, Russian Federation

<sup>3</sup>Institute of High Current Electronics of the Siberian Branch of the RAS (IHCE SB RAS), Tomsk, Russian Federation

**Introduction.** Currently, the possibility of effective correction of multiple organ failure and increasing the life expectancy of patients with critical heart failure using the ventricular assist devices (VAD) is absolutely evidenced. The development of alternative analogues of such devices produced within the country has been an urgent problem for many decades. The design of this machine requires the development of a protocol for carrying out complex biomedical studies on the biocompatibility and safety of the new device.

**The aim of the study** was to develop a protocol for testing and conducting comprehensive biomedical biocompatibility studies of a new ventricular assist device in an acute animal experiment.

**Materials and methods.** The study to develop a technique for implanting a left-ventricular assist device (LVAD) in an acute experiment included female mini-pigs, weighed 40-60 kg. In a series of acute experiments, 5 implantations of a disk pump as a LVAD were performed with a maximum observation period equal 6 hours.

**Results.** In the series of acute experiments, an implantation technique was developed and the fundamental possibility of a viscous

*friction pump application as a ventricular assist device was evidenced. In all experiments (n = 5), the average level of free hemoglobin did not exceed 2.6 mg%, which supports safety of performance of the viscous friction pump regarding blood erythrocytes. None of the experiments recorded episodes of pump shut-off or breakdown.*

**Conclusions.** *The series of acute experiments on mini-pigs helped reveal a number of anatomical and physiological features of this animal species that significantly complicated implementation of persistent observation. However, the developed experimental LVAD test methodology can be recommended for use in further chronic experiments on large laboratory animals (calves).*

**Keywords:** *heart failure; mechanical support of the heart; Tesla disk pump; left ventricular bypass system*

За прошедшее десятилетие применение аппаратов вспомогательного кровообращения в клинической практике значительно возросло [1-3]. По данным литературы, к 2014 году около половины трансплантаций сердца в мире были выполнены на фоне раннее имплантированного аппарата поддержки кровообращения (LVAD) [4]. При этом за последние годы резко возросла потребность в LVAD, так как увеличилось число пациентов, которым аппарат механической поддержки кровообращения был имплантирован в качестве окончательного метода лечения терминальной стадии хронической сердечной недостаточности [5]. Высокая стоимость зарубежных аппаратов вспомогательного кровообращения резко ограничивает их применение, поэтому, отечественные исследования в области разработки и внедрения систем поддержки кровообращения являются наиболее актуальными и востребованными [6]. Внедрение подобных изделий в клиническую практику требует проведение полного комплекса изучения всех характеристик и качеств устройства. С этой целью на базе НМИЦ им.ак. Мешалкина была проведена серия экспериментов на крупных лабораторных животных и разработан протокол испытаний аппарата вспомогательного кровообращения на базе насоса вязкого трения.

### Цель

Целью данного исследования стала разработка протокола имплантации и проведения комплексных медико-биологических исследований биосовместимости нового устройства поддержки кровообращения в остром эксперименте на животных.

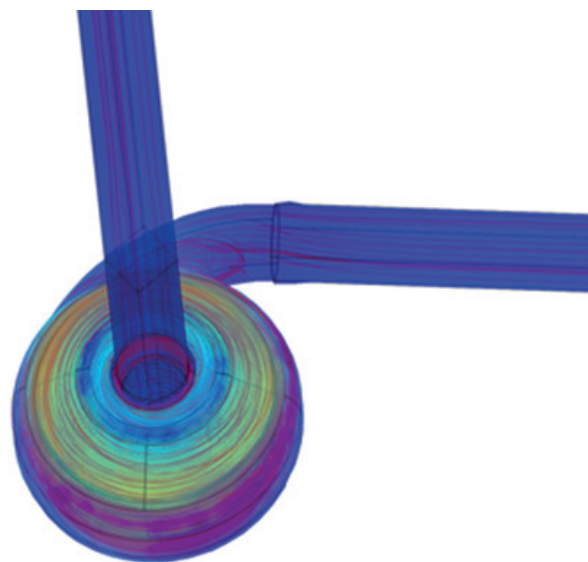
### Материалы и методы

Для разработки методики имплантации системы вспомогательного кровообращения (LVAD) в остром эксперименте в качестве модели были выбраны свиньи породы mini-pig, женского пола, весом 40-60 кг. Уход за животными, обеспечение эксперимента, наблюдение и вывод животных из него выполняли в соответствии с Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (Страсбург, 18.03.1986). Для имплантации LVAD была выбрана паракорпоральная схема имплантации насоса, поскольку данная схема позволила значительно упростить процесс послеоперационного наблюдения за устройством, хотя и создавала большую угрозу для жизни животного по сравнению с инкорпоральной схемой имплантации. Данные предваритель-

ного математического моделирования потока по паракорпоральной петле с учетом форм и длин приводящей и отводящей магистралей доказали физиологичность (ламинарность) потока крови, при этом не оказывая влияния на гемодинамику в испытуемом аппарате механической поддержки кровообращения (рис. 1).

Всех животных накануне эксперимента лишали приема пищи, при этом доступ к воде не ограничивали. Премедикацию проводили в виварии внутримышечным введением раствора атропина и золетила в дозе согласно весо-ростовым параметрам. Когда животное засыпало, подготавливали операционное поле. Эксперимент проводили в условиях эндотрахеального наркоза севофлюраном и миорелаксации (пипекурония бромид).

Во время экспериментов проводился мониторинг инвазивного артериального давления (иАД) путем катетеризации левой сонной артерии, центрального венозного давления (ЦВД) путем катетеризации левой яремной вены, нарушений ритма сердца (электрокардиография), температуры тела, газового состава крови, активированного времени свертываемости (АСТ), гемодинамических параметров работы сердца (ЧПЭХОКГ, катетер Сван-Ганца). С целью коррекции гиповоле-



**Рис. 1.** Распределение скоростей с учетом длин приводящей и отводящей магистралей (темным цветом максимальное значение скорости, синим минимальное значение, красными линиями обозначены линии тока).

**Fig. 1.** Speed distribution taking into account the lengths of the supply and outlet lines (red maximum speed value, blue minimum value, red lines indicate streamlines).

**Таблица 1.** Показатели основных параметров гомеостаза во время эксперимента  
**Table 1.** Indicators of the main parameters of homeostasis during the experiment

Время, мин	30	60	90	120	150	180	210	240
иАД, мм.рт.ст.	90	100	110	115	105	100	95	105
ЧСС	76	86	83	78	80	86	89	85
SpO2, %	98	97	98	97	95	98	98	98
FreeHb, мг/%	1,5	2,0	2,1	2,0	2,3	2,2	2,2	2,0
pH	7,4	7,5	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,5
cЛас, ммоль/л	2,0	2,5	3,0	2,0	3,5	2,0	3,0	3,0

мических нарушений проводили инфузионную терапию кристаллоидными и коллоидными растворами. Параметры жизнедеятельности фиксировали с помощью монитора типа IntelliVueMP70 (Philips). Перед каждым экспериментом все составные части аппарата поддержки кровообращения стерилизовали оксидом этилена. Затем, на стерильном столе к входному и выходному патрубкам насоса фиксировали магистрали 1/2 дюйма. После этого производили заправку насоса физиологическим раствором на малых оборотах (500-1000 об/мин), проводя тщательное удаление воздушных эмболов. В серии острых экспериментов было выполнено 5 имплантаций дискового насоса в качестве LVAD с максимальным периодом наблюдения 6 часов.

**Результаты и их обсуждение**

В первых трех экспериментах дисковый насос подключали по схеме «верхушка левого желудочка – нисходящий отдел грудной аорты». Животных укладывали на правый бок. Выполняли переднебоковую торакотомию в VI межреберье слева с частичной резекцией VI ребра. Магистрали LVAD проводили через сформированные подкожные каналы паравертебрально. После системной гепаринизации (2 мг/кг) и боковым отжатию грудной аорты формировали анастомоз по типу «конец в бок» между дакроновым сосудистым протезом Intergard 14 мм и нисходящей грудной аортой нитью 5/0. Отточную магистраль соединяли с выходным патрубком насоса. Имплантацию приточной канюли проводили на работающем сердце через безсосудистую зону верхушки левого желудочка. Приточную магистраль соединяли с соответствующим патрубком насоса.

После тщательного удаления воздуха из всех патрубков производили постепенное включение насоса и выход на расчетную производительность (5-5,5 л/мин). Этап включения дискового насоса в систему кровообращения производили под контролем ЧПЭХОКГ, контролируя наличие незначительного выброса через аортальный клапан и сглаживание пиков кривой артериального давления на мониторе.

В первом эксперименте, в связи с выраженной потерей крови на этапе имплантации приточной канюли в полость левого желудочка, учитывая небольшую массу тела экспериментального животного

(40 кг) в раннем послеоперационном периоде наблюдалась выраженная анемия (Hb – 50-60 г/л). Кроме того, основной причиной, не позволяющей выйти насосу на расчетную производительность (5,5-6 л/мин) было «схлопывание» полости левого желудочка и нарушение притока крови в насос, несмотря на оптимальное позиционирование канюли в полости левого желудочка (по данным ЧПЭХОКГ) и достаточную волемическую нагрузку животного (ДЗЛК 12-15 мм.рт.ст.). Однако, в течении 4 часов LVAD обеспечивал адекватную системную перфузию (4-4,5 л/мин) в условиях сохраняющего выброса правого желудочка (рис.2). Данные газового состава крови и другие параметры гемодинамики приведены в таблице 1.



**Рис. 2.** Этап пробуждения животного в биндажном станке.  
**Fig. 2.** The stage of awakening the animal in the bandage carriage.



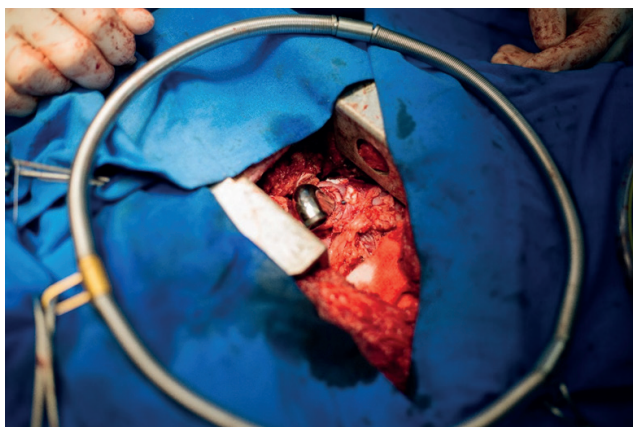


Рис. 3. Вид имплантированной приточной канюли.  
Fig. 3. Type of implanted supply cannula.

В эксперименте № 2 схема имплантации была той же, однако было использовано животное большей массы тела (67 кг). При этом удалось развить производительность дискового насоса до 5,0-5,5 л/мин и обеспечить адекватную перфузию тела животного в течении 3 часов. Параметры газового состава крови так же были в пределах референтных значений. Однако, через 3 часа перфузии на фоне пробуждения животного в станке развилась устойчивая фибрилляция желудочков, потеря выброса правого желудочка и как следствие дефицит притока в насос. Командой исследователей было принято решение о прекращении эксперимента.

Имплантацию LVAD в эксперименте № 3 проводили в условиях искусственного кровообращения, для этого были канюлированы правая общая сонная артерия и правая наружная яремная вена. Условия искусственного кровообращения позволили качественно визуализировать и сформировать венстрикулотомическое отверстие и максимально правильно позиционировать приточную канюлю в полости левого желудочка (рис.3). Однако в момент остановки искусственного кровообращения и передачи функции левого желудочка LVAD развилась устойчивая фибрилляция желудочка, восстановить которую не удалось.

С проведением каждого последующего эксперимента становилось очевидным необходимость в разработке наиболее простой и малоинвазивной схемы подключения LVAD. В экспериментах № 4 и № 5 нами в качестве приточной канюли была использована двухэтапная венозная канюля уплощенной формы (для лучшего моделирования в грудной клетке) Medtronic 29/37 Fr. Приточная канюля заранее проводилась через грудную стенку и после наложения кисетного шва на ушко левого предсердия имплантировалась в полость левого предсердия по направлению к устьям правых легочных вен (рис. 4). Данная техника имплантации приточной канюли позволила практически бескровно обеспечить достаточный приток в насос и избежать

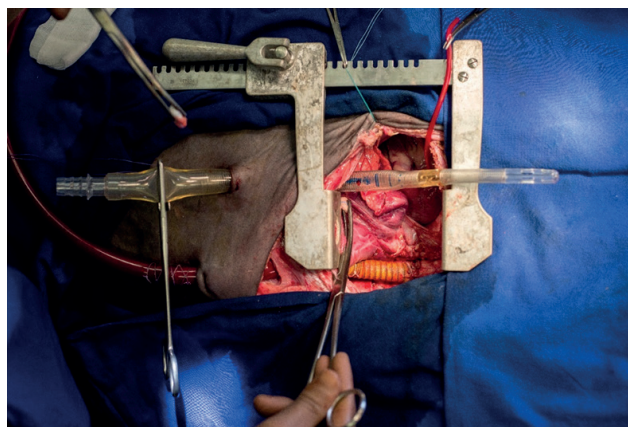


Рис. 4. Вид операционной раны перед имплантацией приточной канюли.  
Fig. 4. View of the surgical wound before implantation of the supply cannula.

анемии в послеоперационном периоде. В двух последних экспериментах животные были успешно экстубированы в раннем послеоперационном периоде, LVAD обеспечивал адекватный системный поток (5,0-5,5 л/мин) в течении 6 часов. Во всех экспериментах перед имплантацией внутривенно вводился гепарин в дозе 2 мг/кг и затем инфузионно для поддержания АСТ на уровне 250-300 сек.

В ходе проведенной серии острых экспериментов была разработана подробная методика имплантации нового типа аппарата вспомогательного кровообращения и доказана принципиальная возможность использования насоса вязкого трения в качестве основного механизма. Во всех экспериментах (n=5) средний уровень свободного гемоглобина не превысил значение 2,6 мг/%, что доказывает безопасность механизма работы насоса вязкого трения по отношению к эритроцитам крови.

Однако, целый ряд анатомо-физиологических недостатков свиней (mini-pig) привел к отказу использования этого вида животных в хронических экспериментах. Ни в одном эксперименте не было зафиксировано эпизодов остановки или поломки насоса. Все возникшие трудности в ходе испытаний разрабатываемого аппарата поддержки кровообращения на основе насоса вязкого трения были связаны с топо-морфологическими особенностями экспериментальной модели. У всех животных определялась выраженная гипертрофия стенок (>2,5мм) и маленькая полость левого желудочка (конечно-диастолический объем менее 40 мл), что способствовало закупорки приточной канюли даже при адекватном позиционировании ее в полости левого желудочка (в случае подключения по схеме «верхушка левого желудочка – нисходящая аорта»).

Разработанная опытным путем и подтвержденная методами математического моделирования потока схема подключения «ушко левого предсердия – нисходящая грудная аорта» с использованием двухэтапной армированной венозной канюли позволила

максимально ускорить и упростить процедуру экспериментального подключения LVAD, исключив необходимость применения аппарата искусственного кровообращения.

Значимым наблюдением стал тот факт, что нанесение а-С:Н:SiO<sub>x</sub> покрытия, полученного с использованием импульсного биполярного напряжения смещения при плазмохимическом осаждении на внутренние поверхности и движущиеся части ротора значительно повысило биосовместимость устройства, при ранее доказанном влиянии на снижение уровня гемолиза [7]. Так, в первых моделях насоса, в отсутствие данного покрытия каждый раз после эксплантации обнаруживались множественные тромботические массы, особенно в основании насоса (вокруг оси пакета дисков). После нанесения а-С:Н:SiO<sub>x</sub> пленки ни в одном случае не было обнаружено сгустков крови на поверхностях движущихся частей насоса. Значимость подобной доработки неоднократно освещалась в работах других исследователей, посвященных созданию биосовместимых покрытий [8, 9].

### Список литературы

1. Халилулин Т.А. Особенности имплантации системы поддержки насосной функции сердца АВК-Н в качестве «моста» к трансплантации сердца. Вестник трансплантологии и искусственных органов. 2018; 20: 1: 13-22.
2. Чернявский А. М., Рузमतов Т. М., Фомичев А. В., Медведев А. Е., Приходько Ю. М., Фомин В. М., Караськов А. М. Экспериментальная оценка устройства механической поддержки сердца на основе дискового насоса вязкого трения. Вестник трансплантологии и искусственных органов. 2017; 19: 1: 28-34.
3. Apel J, Paul R, Klaus S, Siess T, Reul H. Assessment of hemolysis related quantities in a microaxial blood pump by computational fluid dynamics. *Artificial Organs*. 2001; 25: 5: 341-347.
4. Колоскова Н.Н. Терминальная сердечная недостаточность. Отбор пациентов для постановки в «лист ожидания» на трансплантацию сердца 14.01.05.- кардиология 14.01. 26.-сердечно-сосудистая хирургия. Москва. 2011.
5. Lund L. H. The registry of the International Society for Heart and Lung Transplantation: thirty-third adult heart transplantation report—2016; focus theme: primary diagnostic indications for transplant. *The Journal of Heart and Lung Transplantation*. 2016; 35: 10: 1158-1169.
6. Чернявский А.М. Перспективы использования дискового насоса для механической поддержки кровообращения в кардиохирургической практике. (Обзорная статья). Вестник трансплантологии и искусственных органов. 2016; 18: 3: 68-73.
7. Grenadyorov AS. Modifying the surface of a titanium alloy with an electron beam and aC: H: SiO<sub>x</sub> coating deposition to reduce hemolysis in cardiac assist devices. *Surface and Coatings Technology*. 2020; 381: 125113.
8. Love CA, Cook RB, Harvey TJ, Dearnley PA, Wood RJK. Diamond like carbon coatings for potential application in biological implants — a review. *Tribol. Int*. 2013; 141–150.
9. Kwok SCH, Wang J, Chu PK. Surface energy, wettability, and blood compatibility phosphorus doped diamond-like carbon films. *Diamond and Related Materials*. 2005; 14: 1: 78-85.

### Информация об авторах

1. Жульков Максим Олегович – стажер-исследователь центра хирургии аорты, коронарных и периферических артерий Национального медицинского исследовательского центра имени академика Е.Н.Мешалкина, e-mail: medicus-maligna@mail.ru
2. Головин Александр Михайлович - директор акционерного общества Научно-производственной компании «ИМПУЛЬС-проект», e-mail: golovina@imp-project.ru
3. Гренадёрв Александр Сергеевич – к.т.н., научный сотрудник лаборатории прикладной электроники Института сильноточной

### Заключение

Таким образом, в ходе проведения серии острых экспериментов на животных были получены важнейшие знания о преимуществах и недостатках различных способов экспериментальной имплантации устройств вспомогательного кровообращения, разработан оптимальный протокол испытаний LVAD. Также была обоснована необходимость перехода к новой модели (телята) в серии хронических экспериментов. Разработанный протокол имплантации и послеоперационного наблюдения может быть рекомендована к использованию в дальнейших хронических экспериментах на крупных лабораторных животных (телята).

### Дополнительная информация

#### Конфликт интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

#### Источник финансирования

Работа выполнена при поддержке средств гранта Российского научного фонда (проект 19-19- 00186).

### References

1. Halilulin TA. Features of implantation of the AVK-N pumping function support system as a "bridge" to heart transplantation. *Vestnik transplantologii i iskusstvennykh organov*. 2018; 20: 1: 13-22.(in Russ.)
2. Chernyavskii AM, Ruzmatov TM, Fomichev AV, Medvedev AE, Prikhod'ko YuM, Fomin VM, Karas'kov AM. Eksperimental'naya otsenka ustroystva mekhanicheskoi podderzhki serdtsa na osnove diskovogo nasosa vyzkogo treniya. *Vestnik transplantologii i iskusstvennykh organov*. 2017; 19: 1: 28-34.(in Russ.)
3. Apel J, Paul R, Klaus S, Siess T, Reul H. Assessment of hemolysis related quantities in a microaxial blood pump by computational fluid dynamics. *Artificial Organs*. 2001; 25: 5: 341-347.
4. Koloskova NN. Terminal'naya serdechnaya nedostatochnost'. Otbor pacientov dlya postanovki v «list ozhidaniya» na transplantaciyu serdca/14.01.05. - kardiologiya 14.01. 26. - serdechno-sosudistaya hirurgiya. Moskva. 2011. (in Russ.)
5. Lund L. H. The registry of the International Society for Heart and Lung Transplantation: thirty-third adult heart transplantation report—2016; focus theme: primary diagnostic indications for transplant. *The Journal of Heart and Lung Transplantation*. 2016; 35: 10: 1158-1169.
6. Chernyavskii AM. Prospects of use of the disc pump for mechanical circulatory support in cardiac surgical practice. (Review article). *Vestnik transplantologii i iskusstvennykh organov*. 2016; 18: 3: 68-73. (in Russ.)
7. Grenadyorov AS. Modifying the surface of a titanium alloy with an electron beam and aC: H: SiO<sub>x</sub> coating deposition to reduce hemolysis in cardiac assist devices. *Surface and Coatings Technology*. 2020; 381: 125113.
8. Love CA, Cook RB, Harvey TJ, Dearnley PA, Wood RJK. Diamond like carbon coatings for potential application in biological implants — a review. *Tribol. Int*. 2013; 141–150.
9. Kwok SCH, Wang J, Chu PK. Surface energy, wettability, and blood compatibility phosphorus doped diamond-like carbon films. *Diamond and Related Materials*. 2005; 14: 1: 78-85.

### Information about the Authors

1. Maxim Olegovich Zhulkov - trainee researcher at the center for surgery of the aorta, coronary and peripheral arteries Of the national medical research center named after academician E. N. Meshalkin, e-mail: medicus-maligna@mail.ru
2. Alexander Mikhailovich Golovin - Director of the joint-stock company "IMPULSE-project" Research and production company, e-mail: golovina@imp-project.ru
3. Alexander Sergeevich Grenaderov - Ph.D., research associate at the applied electronics laboratory Of the Institute of high-current

- электроники Сибирского отделения Российской академии наук, e-mail: 1711Sasha@mail.ru
4. Цирихов Виталий Русланович – аспирант центра хирургии аорты, коронарных и периферических артерий Национального медицинского исследовательского центра имени академика Е.Н.Мешалкина, e-mail: Tsirikhov57@gmail.com
  5. Сабетов Азат Керинбекович - аспирант центра хирургии аорты, коронарных и периферических артерий Национального медицинского исследовательского центра имени академика Е.Н.Мешалкина, e-mail: Chelsea.bostery@gmail.com
  6. Агаева Хава Абдуллаевна – клинический ординатор центра хирургии аорты, коронарных и периферических артерий Национального медицинского исследовательского центра имени академика Е.Н.Мешалкина, e-mail: nohchiborz2295@yandex.ru
  7. Альсов Сергей Анатольевич – д.м.н., хирург центра хирургии аорты, коронарных и периферических артерий Национального медицинского исследовательского центра имени академика Е.Н.Мешалкина, e-mail: s\_alsov@meshalkin.ru
  8. Чернявский Александр Михайлович - д.м.н., профессор, руководитель центра хирургии аорты, коронарных и периферических артерий Национального медицинского исследовательского центра имени академика Е.Н.Мешалкина, e-mail: amchern@mail.ru
4. Vitaliy Ruslanovich Tsirikhov - post-graduate student of the center for aortic, coronary and peripheral artery surgery of the national medical research center named after academician E. N. Meshalkin, e-mail: Tsirikhov57@gmail.com
  5. Azat Kerinbekovich Sabetov - post-graduate student of the center for aortic, coronary and peripheral artery surgery of the national medical research center named after academician E. N. Meshalkin, e-mail: Chelsea.bostery@gmail.com
  6. Hava Abdullayevna Agayeva - clinical resident of the center for surgery of aorta, coronary and peripheral arteries Of the national medical research center named after academician E. N. Meshalkin, e-mail: nohchiborz2295@yandex.ru
  7. Sergey Anatolievich Alsov - M.D., surgeon of the center for aortic, coronary and peripheral artery surgery of the national medical research center named after academician E. N. Meshalkin, e-mail: s\_alsov@meshalkin.ru
  8. Alexander Mikhailovich Chernyavsky - M.D., Professor, head of the center for surgery of the aorta, coronary and peripheral arteries Of the national medical research center named after academician E. N. Meshalkin, e-mail: amchern@mail.ru

### Цитировать:

*Жульков М.О., Головин А.М., Гренадеров А.С., Цирихов Р.В., Сабетов А.К., Агаева Х.А., Альсов С.А., Чернявский А.М. Методика проведения испытаний нового типа аппарата вспомогательного кровообращения на основе насоса вязкого трения. Вестник экспериментальной и клинической хирургии 2020; 13: 3: 256-261. DOI: 10.18499/2070-478X-2020-13-3-256-261.*

### To cite this article:

*Zhulkov M.O., Golovin A.M., Grenaderov A.S., Tsirikhov R.V., Sabetov A.K., Agaeva H.A., Alsov S.A., Chernyavskiy A.M. Test Procedure for a New Type of a Ventricular Assist Device Based on a Viscous Friction Pump. Journal of experimental and clinical surgery 2020; 13: 3: 256-261. DOI: 10.18499/2070-478X-2020-13-3-256-261.*