

DOI: 10.15507/0236-2910.026.201603

ISSN 0236-2910 (Print), 2313-0636 (Online)

Том 26, № 3. 2016

Научный журнал

Основан в январе 1990 г.

Выходит один раз в квартал

16+



Vol. 26, no. 3. 2016

SCHOLARLY JOURNAL

Founded in January 1990

Issued quarterly

ВЕСТНИК МОРДОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

MORDOVIA UNIVERSITY BULLETIN

DOI: 10.15507/0236-2910

Учредитель и издатель —
федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего
образования «Национальный
исследовательский Мордовский
государственный университет
им. Н. П. Огарёва»

FOUNDER AND PUBLISHER —
Federal State
Budgetary Educational
Institution
of Higher Education
“National Research
Ogarev Mordovia
State University”

E-mail: vestnik_mrsu@mail.ru; **http:** <http://vestnik.mrsu.ru>

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (Перечень ВАК)

Индексируется в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ), а также международных базах данных EBSCO, Index Copernicus и ResearchBib

Является членом Комитета по этике научных публикаций, Ассоциации научных редакторов и издателей (АНРИ) и Cross Ref

Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), свидетельство ПИ № ФС77-54869 от 26.07.2013 г.

Подписной индекс в каталогах агентств «Роспечать» и «МК-периодика» — **70539**

Адрес учредителя, издателя и редакции:
430005, Россия, Республика Мордовия,
г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68
Телефон, факс: +7 (8342) 48-14-24

Founder, publisher and editorial house address:
68, Bolshevistskaya St., 430005, Saransk,
Republic of Mordovia, Russia
Phone, fax: +7 (8342) 48-14-24

© ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», 2016



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Вдовин Сергей Михайлович – *главный редактор*, ректор ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», кандидат экономических наук, gestor@mrsu.ru (Саранск, Россия)

Маргулис Виктор Александрович – *главный научный редактор*, заведующий кафедрой теоретической физики ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», доктор физико-математических наук, профессор, margulisva@mrsu.ru (Саранск, Россия)

Полутин Сергей Викторович – *заместитель главного редактора*, директор НИИ регионологии ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», доктор социологических наук, профессор, polutin.sergei@yandex.ru (Саранск, Россия)

Гордина Светлана Викторовна – *ответственный секретарь*, кандидат педагогических наук, vestnik_mrsu@mail.ru (Саранск, Россия)

Сенин Петр Васильевич – *научный руководитель*, проректор по научной работе ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», доктор технических наук, профессор, vice-rector-innov@adm.mrsu.ru (Саранск, Россия)

Ватолкина Наталья Шамильевна – *координатор международного совета*, начальник управления международных связей ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», кандидат экономических наук, доцент, kafedra507@yandex.ru (Саранск, Россия)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Агеев Фаиль Таипович – руководитель научно-диспансерного отдела НИИ кардиологии им. Мясникова А. Л. ФГБУ «Российский кардиологический научно-производственный комплекс», доктор медицинских наук, профессор (Москва, Россия)

Алексеева Екатерина Иосифовна – заведующий ревматологическим отделением ФГБУ «Научный центр здоровья детей РАМН», декан педиатрического факультета ГБОУ ВПО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова Минздрава России», доктор медицинских наук, профессор (Москва, Россия)

Анисимов Владимир Николаевич – член-корреспондент Российской академии наук, доктор медицинских наук, профессор, руководитель отдела канцерогенеза и онкогеронтологии НИИ онкологии им. Н. Н. Петрова Росмедтехнологий (Санкт-Петербург, Россия)

Балыкова Лариса Александровна – директор медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», доктор медицинских наук, профессор (Саранск, Россия)

Дианов Евгений Михайлович – академик Российской академии наук, директор ФГБУН «Научный центр волоконной оптики Российской академии наук», доктор физико-математических наук, профессор (Москва, Россия)

Еровиченков Александр Анатольевич – профессор кафедры инфекционных болезней Первого МГМУ им. И. М. Сеченова, доктор медицинских наук, профессор (Москва, Россия)

Ерофеев Владимир Трофимович – член-корреспондент Российской академии архитектуры и строительных наук, декан архитектурно-строительного факультета ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», доктор технических наук, профессор (Саранск, Россия)

Железникова Ольга Евгеньевна – директор Института электроники и светотехники ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», кандидат технических наук, доцент (Саранск, Россия)

Игумнов Леонид Александрович – директор Научно-исследовательского института механики, заведующий кафедрой численного моделирования физико-механических процессов механико-математического факультета ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского», доктор физико-математических наук, профессор (Нижний Новгород, Россия)

Калашников Владимир Иванович – заведующий кафедрой технологии строительных материалов и деревообработки ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», доктор технических наук, профессор (Пенза, Россия)

Калинин Ариан Павлович – член-корреспондент Российской академии медицинских наук, профессор кафедры эндокринологии ФУВ ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М. Ф. Владимирского», доктор медицинских наук, профессор (Москва, Россия)

Кечемайкин Владимир Николаевич – директор Рузаевского института машиностроения ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», кандидат экономических наук (Саранск, Россия)

Котляров Андрей Александрович – декан медицинского факультета ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский ядерный университет» (МИФИ) Обнинского института атомной энергетики (ИАТЭ), доктор медицинских наук, профессор (Обнинск, Россия)



- Котин Александр Владимирович** – заведующий кафедрой механизации переработки сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», доктор технических наук, профессор (Саранск, Россия)
- Лишманов Юрий Борисович** – член-корреспондент Российской академии медицинских наук, заместитель директора по НИР ФГБУ «Научно-исследовательский институт кардиологии» СО РАМН, доктор медицинских наук, профессор, ORCID ID: 0000-0002-3928-7462, Researcher ID: F-5940-2014, Scopus Author ID: 35611250600 (Томск, Россия)
- Макаров Леонид Михайлович** – руководитель Центра синкопальных состояний и сердечных аритмий у детей и подростков ФМБА России на базе ФГБУЗ ЦДКБ Федерального Медико-Биологического Агентства, доктор медицинских наук, профессор (Москва, Россия)
- Мидленко Владимир Ильич** – директор Института медицины, экологии и физической культуры ФГБОУ ВПО «Ульяновский государственный университет», доктор медицинских наук, профессор (Ульяновск, Россия)
- Микаева Светлана Анатольевна** – профессор кафедры ПР-4 «Электротехника и электроника» ФГБОУ ВО «Московский государственный университет информационных технологий, радиотехники и электроники», доктор технических наук, профессор (Москва, Россия)
- Нищев Константин Николаевич** – директор Института физики и химии ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», кандидат физико-математических наук, доцент (Саранск, Россия)
- Прытков Юрий Николаевич** – директор Аграрного института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Саранск, Россия)
- Скрябин Владимир Александрович** – профессор кафедры технологии машиностроения ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет», доктор технических наук, профессор (Пенза, Россия)
- Чучаев Иван Иванович** – декан факультета математики и информационных технологий ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», кандидат физико-математических наук, доцент (Саранск, Россия)
- Ямашкин Анатолий Александрович** – заведующий кафедрой землеустройства и ландшафтного планирования ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», доктор географических наук, профессор (Саранск, Россия)

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

- Аллахвердиев Сурхай Рагим оглы** – профессор кафедры лесной индустрии Бартынского государственного университета, доктор биологических наук, профессор (Барты, Турция)
- Бобрышев Юрий Вениаминович** – старший научный сотрудник кафедры анатомии медицинского факультета Университета Нового Южного Уэльса, доктор биологических наук, профессор (Сидней, Австралия)
- Булгаков Алексей Григорьевич** – профессор Института строительного дела Дрезденского технического университета, доктор технических наук, профессор (Дрезден, Германия)
- Бурбулис Наталия** – директор Института биологии и биотехнологии растений, научный руководитель лаборатории Агробиотехнологии при Университете им. Александра Стулгинскиса, доктор биомедицинских наук, профессор (Каунас, Литва)
- Ганс Гуски** – член сообщества патологии г. Потсдама, доктор медицинских наук, профессор (Берлин, Германия)
- Духовскис Павел Викентьевич** – заведующий лабораторией физиологии растений Института садоводства и овощеводства Литовского научного центра аграрных и лесных наук, действительный член АН Литвы, хабилированный доктор, профессор (Бабтай, Литва)
- Кусмарцев Федор Васильевич** – декан физического факультета Университета Лафборо, кандидат физико-математических наук (Лафборо, Великобритания)
- Лайко Ирина Михайловна** – старший научный сотрудник, заведующий отделом селекции и семеноводства конопли опытной станции лубяных культур Института сельского хозяйства Северо-востока Национальной академии аграрных наук Украины, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Глухов, Украина)
- Радованович Милан Милошевич** – высший научный сотрудник Географического института «Јован Свјјис» Сербской академии наук и искусств, доктор географических наук, профессор (Белград, Сербия)
- Сосунов Александр Алексеевич** – Колумбийский университет, департамент нейрохирургии, доктор медицинских наук, профессор (Нью-Йорк, США)

EDITORIAL BOARD

- Sergey M. Vdovin** – *Editor in chief*, rector of National Research Mordovia State University, Ph.D. (Economics), rector@mrsu.ru (Saransk, Russia)
- Viktor A. Margulis** – *Science editor in chief*, head of Theoretical Physics chair of National Research Mordovia State University, Dr.Sci. (Phys.-Math.), professor, margulisva@mrsu.ru (Saransk, Russia)
- Sergey V. Polutin** – *Deputy editor in chief*, director of Research Institute of Regional Studies under National Research Mordovia State University, Dr.Sci. (Sociology), professor, polutin.sergei@yandex.ru (Saransk, Russia)
- Svetlana V. Gordina** – *Executive editor*, Ph.D. (Pedagogy), vestnik_mrsu@mail.ru (Saransk, Russia)
- Petr V. Senin** – *Scientific supervisor*, vice rector for science and research, Dr.Sci. (Engineering), professor, vice-rector-innov@adm.mrsu.ru (Saransk, Russia)
- Natalya Sh. Vatolkina** – *International council coordinator*, Ph.D. (Economics), head of International Office, docent, kafedra507@yandex.ru (Saransk, Russia)

EDITORIAL COUNCIL

- Fail T. Ageyev** – head of Research and Prophylaxis division of Myasnikov Cardiology Research Institute of Federal State Institution of Russian Cardiological research-and-production complex of Federal Agency for Public Health and Human Services, Dr.Sci. (Medicine), professor (Moscow, Russia)
- Yekaterina I. Alekseyeva** – head of rheumatologic department of Federal State Budgetary Scientific Institution “Scientific Centre of Children Health”, dean of Pediatrics department of Sechenov First Moscow State Medical University, Dr.Sci. (Medicine), professor (Moscow, Russia)
- Vladimir N. Anisimov** – member-correspondent of Russian Academy of Sciences, head of Oncogenesis department of Petrov Oncology Research Institute, Dr.Sci. (Medicine), professor (St. Petersburg, Russia)
- Larisa A. Balykova** – director of Medical Institute of National Research Mordovia State University, Dr.Sci. (Medicine), professor (Saransk, Russia)
- Ivan I. Chuchayev** – dean of Mathematics and Information Technology faculty of National Research Mordovia State University, Ph.D. (Phys.-Math.), docent (Saransk, Russia)
- Yevgeniy M. Dianov** – academician of Russian Academy of Sciences, director of Fiber Optics Research Center of the Russian Academy of Sciences, Dr.Sci. (Phys.-Math.), professor (Moscow, Russia)
- Leonid A. Igumnov** – director of Research Institute of Mechanics, head of Numerical Simulation of Physical and Mechanical Processes chair of Lobachevsky State University of Nizhniy Novgorod, Dr.Sci. (Phys.-Math.), professor (Nizhniy Novgorod, Russia)
- Vladimir I. Kalashnikov** – head of Construction Material Technology and Woodwork chair of Penza State University of Architecture and Building, Dr.Sci. (Engineering), professor (Penza, Russia)
- Arian P. Kalinin** – member-correspondent of Russian Academy of Medical sciences, professor of Endocrinology chair of Moscow Regional Clinical Research Institute “MONIKI”, Dr.Sci. (Medicine), professor (Moscow, Russia)
- Vladimir N. Kechemaykin** – director of Ruzayevka campus of National Research Mordovia State University, Ph.D. (Economy) (Saransk, Russia)
- Aleksandr V. Kotin** – head of Mechanization of Agriproduct Processing of National Research Mordovia State University, Dr.Sci. (Engineering), professor (Saransk, Russia)
- Andrey A. Kotlyarov** – dean of Medical faculty of National Research Nuclear University MEPhI, Dr.Sci. (Medicine), professor (Obninsk, Russia)
- Yuriy B. Lishmanov** – member-correspondent of Russian Academy of Medical sciences, deputy director of Federal State Budgetary Scientific Institution “Research Institute for Cardiology”, Dr.Sci. (Medicine), professor, ORCID ID: 0000-0002-3928-7462, Researcher ID: F-5940-2014, Scopus Author ID: 35611250600 (Tomsk, Russia)
- Leonid M. Makarov** – head of Syncopal conditions and Cardiac Arrhythmia in Children and Juveniles of Federal Medical and Biological Agency of Russian Federation, Dr.Sci. (Medicine), professor (Moscow, Russia)
- Vladimir I. Midlenko** – director of Institute of Medicine, Ecology and Physical Education of Ulyanovsk State University, Dr.Sci. (Medicine), professor (Ulyanovsk, Russia)



Svetlana A. Mikayeva – professor of Electrotechnics and Electronics chair of Moscow State University of Instrument Engineering and Computer Science, Dr.Sci. (Engineering), professor (Moscow, Russia)

Konstantin N. Nishchev – director of Institute of Physics and Chemistry of National Research Mordovia State University, Ph.D. (Phys.-Math.), docent (Saransk, Russia)

Yuriy N. Prytkov – director of Institute of Agriculture of National Research Mordovia State University, Dr.Sci. (Agriculture), professor (Saransk, Russia)

Vladimir A. Skryabin – professor Machine Engineering Technology chair of Penza State University, Dr.Sci. (Engineering), professor (Penza, Russia)

Anatoliy A. Yamashkin – head of Land Utilization and Landscape Design chair of National Research Mordovia State University, Dr.Sci. (Geography), professor (Saransk, Russia)

Vladimir T. Yerofeyev – member-correspondent of Russian Academy of Architecture and Construction sciences, dean of Architectural And Civil Engineering faculty of National Research Mordovia State University, Dr.Sci. (Engineering), professor (Saransk, Russia)

Aleksandr A. Yerovichenkov – professor of Infectious Diseases chair of Sechenov First Moscow State Medical University, Dr.Sci. (Medicine), professor (Moscow, Russia)

Olga Ye. Zheleznikova – director of Institute of Electronics and Light Engineering of National Research Mordovia State University, Ph.D. (Engineering), docent (Saransk, Russia)

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

Surhay Allahverdi – head of Forest Industry chair of Bartin University, Dr.Sci. (Biology), professor (Bartın, Turkey)

Yuriy V. Bobryshev – senior research associate of School of Medical, Faculty of Medicine, University of New South Wales, Dr.Sci. (Biology), professor (Sydney, Australia)

Aleksey G. Bulgakov – professor of Faculty of Architecture of Dresden University of Technology, Dr.Sci. (Engineering), professor (Dresden, Germany)

Natalya Burbulis – director of Institute of Rural Culture, research adviser of Agrobiotechnology laboratories of Aleksandras Stulginskis University, Dr.Sci. (Medicine), professor (Kaunas, Lithuania)

Gans Guski – Potsdam Pathology community member, Dr.Sci. (Medicine), professor (Berlin, Germany)

Pavel V. Duchovskis – head of Plant Physiology Laboratories of Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, fellow of Lithuanian Academy of sciences, Dr. habil., professor (Babtai, Lithuania)

Fedor V. Kusmartsev – dean of Institute of Physics of Loughborough University, Ph.D. (Phys.-Math.) (Loughborough, Great Britain)

Irina M. Layko – senior research associate, head of Hemp Breeding and Seedage of experimental station of textile plants of Institute of Bast Crops of the National Academy of Agricultural of sciences Ukraine, Dr.Sci. (Agriculture), professor (Glukhov, Ukraine)

Milan M. Radovanovich – director of Geographic institute “Jovan Cvijic” of Serbian academy of sciences and arts, Dr.Sci. (Geography) professor (Belgrad, Serbia)

Aleksandr A. Sosunov – Columbia University, department of neurosurgery, Dr.Sci. (Medicine), professor (New York, USA)

**ИНСТИТУТ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ ПУБЛИКАЦИЙ****Медицина**

Балашов Владимир Павлович, доктор биологических наук, профессор (Саранск, Россия)
Бебнева Тамара Николаевна, кандидат медицинских наук (Москва, Россия)
Власов Алексей Петрович, доктор медицинских наук, профессор (Саранск, Россия)
Герасимова Наталья Геннадьевна, доктор медицинских наук, профессор (Саранск, Россия)
Гончарова Людмила Никитична, доктор медицинских наук, профессор (Саранск, Россия)
Давыдкин Василий Иванович, кандидат медицинских наук, доцент (Саранск, Россия)
Еремينا Елена Юрьевна, доктор медицинских наук, профессор (Саранск, Россия)
Инчина Вера Ивановна, доктор медицинских наук, профессор (Саранск, Россия)
Камаев Игорь Александрович, доктор медицинских наук, профессор (Нижний Новгород, Россия)
Кораблева Наталья Николаевна, кандидат медицинских наук, доцент (Сыктывкар, Россия)
Лежанкина Нина Юрьевна, доктор медицинских наук, профессор (Саранск, Россия)
Мозеров Сергей Алексеевич, доктор медицинских наук, профессор (Обнинск, Россия)
Моисеева Инесса Яковлевна, доктор медицинских наук, профессор (Пенза, Россия)
Мосина Лариса Михайловна, доктор медицинских наук, профессор (Саранск, Россия)
Новикова Людмила Владимировна, кандидат медицинских наук, профессор (Саранск, Россия)
Омельяненко Николай Петрович, доктор медицинских наук, профессор (Москва, Россия)
Павелкина Вера Федоровна, доктор медицинских наук, профессор (Саранск, Россия)
Пиксин Иван Никифорович, доктор медицинских наук, профессор (Саранск, Россия)
Плотникова Надежда Алексеевна, доктор медицинских наук, профессор (Саранск, Россия)
Степаненко Ирина Семеновна, кандидат медицинских наук, доцент (Саранск, Россия)
Сухоруков Владимир Сергеевич, доктор медицинских наук, профессор (Москва, Россия)
Ураков Александр Ливиевич, доктор медицинских наук, профессор (Ижевск, Россия)

Биология

Девяткин Аркадий Анатольевич, кандидат биологических наук, доцент (Саранск, Россия)
Кадималиев Давуд Али оглы, доктор биологических наук, профессор (Саранск, Россия)
Кузнецов Вячеслав Александрович, доктор биологических наук, профессор (Саранск, Россия)
Лукаткин Александр Степанович, доктор биологических наук, профессор (Саранск, Россия)
Силаева Татьяна Борисовна, доктор биологических наук, профессор (Саранск, Россия)
Трофимов Владимир Александрович, доктор биологических наук, профессор (Саранск, Россия)
Шляхтин Геннадий Викторович, доктор биологических наук, профессор (Саратов, Россия)

Математика, физика и химия

Андреев Александр Сергеевич, доктор физико-математических наук, профессор (Ульяновск, Россия)
Васин Виктор Алексеевич, доктор химических наук, профессор (Саранск, Россия)
Зюзин Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор (Саранск, Россия)
Логунов Михаил Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор (Саранск, Россия)
Рябочкина Полина Анатольевна, доктор физико-математических наук, доцент (Саранск, Россия)
Смольянов Андрей Григорьевич, кандидат физико-математических наук, доцент (Саранск, Россия)
Томилин Олег Борисович, кандидат химических наук, доцент (Саранск, Россия)
Шорохов Алексей Владимирович, доктор физико-математических наук, доцент (Саранск, Россия)
Щенников Владимир Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор (Саранск, Россия)

Технические науки

Амелькина Светлана Анатольевна, кандидат технических наук, доцент (Саранск, Россия)
Ашратов Альберт Аббасович, кандидат технических наук, доцент (Саранск, Россия)
Богатов Андрей Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент (Саранск, Россия)
Горбунов Алексей Алексеевич, кандидат технических наук, доцент (Саранск, Россия)
Животовский Григорий Альбертович, доктор технических наук, доцент (Нижний Новгород, Россия)
Ивлиев Сергей Николаевич, кандидат технических наук, доцент (Саранск, Россия)
Камаев Валерий Анатольевич, доктор технических наук, профессор (Волгоград, Россия)
Коваленко Ольга Юрьевна, доктор технических наук, доцент (Саранск, Россия)
Кокинов Андрей Михайлович, доктор технических наук, профессор (Саранск, Россия)
Кудаев Сергей Петрович, кандидат физико-математических наук, доцент (Саранск, Россия)
Митин Эдуард Валерьевич, кандидат технических наук, доцент (Саранск, Россия)
Панфилов Степан Александрович, доктор технических наук, профессор (Саранск, Россия)
Римшин Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор (Москва, Россия)
Федоренко Анатолий Степанович, доктор технических наук, профессор (Саранск, Россия)
Чузунов Михаил Владимирович, кандидат технических наук, доцент (Саранск, Россия)
Шичков Леонид Петрович, доктор технических наук, профессор (Москва, Россия)

Науки о Земле. Сельскохозяйственные науки

Вельматов Анатолий Павлович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Саранск, Россия)
Емельянов Сергей Владимирович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент (Саранск, Россия)
Ершнев Александр Павлович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Саранск, Россия)
Зенкин Александр Сергеевич, доктор биологических наук, профессор (Саранск, Россия)
Ивойлов Александр Васильевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Саранск, Россия)
Каверин Александр Владимирович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Саранск, Россия)
Масляев Валерий Николаевич, кандидат географических наук, доцент (Саранск, Россия)
Матяев Владимир Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Саранск, Россия)
Носонов Артур Модестович, доктор географических наук, доцент (Саранск, Россия)
Смолин Николай Васильевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Саранск, Россия)
Тельцов Леонид Петрович, доктор естественных наук, профессор (Саранск, Россия)



INSTITUTE OF PUBLICATIONS PEER REVIEWING

Medicine

- Vladimir P. Balashov, Dr.Sci. (Biology), professor (Saransk, Russia)
 Tamara N. Bebnava, Ph.D. (Medicine) (Moscow, Russia)
 Vasily I. Davydkin, Ph.D. (Medicine), docent (Saransk, Russia)
 Natalya G. Gerasimova, Dr.Sci. (Medicine), professor (Saransk, Russia)
 Lyudmila N. Goncharova, Dr.Sci. (Medicine), professor (Saransk, Russia)
 Vera I. Inchina, Dr.Sci. (Medicine), professor (Saransk, Russia)
 Igor A. Kamayev, Dr.Sci. (Medicine), professor (Nizhniy Novgorod, Russia)
 Natalya N. Korableva, Ph.D. (Medicine), docent (Syktyvkar, Russia)
 Nina Yu. Leshchankina, Dr.Sci. (Medicine), professor (Saransk, Russia)
 Inessa Ya. Moiseyeva, Dr.Sci. (Medicine), professor (Penza, Russia)
 Larisa M. Mosina, Dr.Sci. (Medicine), professor (Saransk, Russia)
 Sergey A. Mozerov, Dr.Sci. (Medicine), professor (Obninsk, Russia)
 Lyudmila V. Novikova, Ph.D. (Medicine), professor (Saransk, Russia)
 Nikolay P. Omelyanenko, Dr.Sci. (Medicine), professor (Moscow, Russia)
 Vera F. Pavelkina, Dr.Sci. (Medicine), professor (Saransk, Russia)
 Ivan N. Piskin, Dr.Sci. (Medicine), professor (Saransk, Russia)
 Nadezhda A. Plotnikova, Dr.Sci. (Medicine), professor (Saransk, Russia)
 Irina S. Stepanenko, Ph.D. (Medicine), docent (Saransk, Russia)
 Vladimir S. Sukhorukov, PDr.Sci. (Medicine), professor (Moscow, Russia)
 Aleksandr P. Urakov, Dr.Sci. (Medicine), professor (Izhevsk, Russia)
 Aleksey P. Vlasov, Dr.Sci. (Medicine), professor (Saransk, Russia)
 Yelena Yu. Yeremina, Dr.Sci. (Medicine), professor (Saransk, Russia)

Biology

- Arkadiy A. Devyatkin, Ph.D. (Biology), docent (Saransk, Russia)
 David Kadimaliyev, Dr.Sci. (Biology), professor (Saransk, Russia)
 Vyacheslav A. Kuznetsov, Dr.Sci. (Biology), professor (Saransk, Russia)
 Aleksandr S. Lukatkin, Dr.Sci. (Biology), professor (Saransk, Russia)
 Gennadiy V. Shlyakhtin, Dr.Sci. (Biology), professor (Saratov, Russia)
 Tatyana B. Silayeva, Dr.Sci. (Biology), professor (Saransk, Russia)
 Vladimir A. Trofimov, Dr.Sci. (Biology), professor (Saransk, Russia)

Mathematics, Physics and Chemistry

- Aleksandr S. Andreyev, Dr.Sci. (Phys.-Math.), professor (Ulyanovsk, Russia)
 Mikhail V. Logunov, Dr.Sci. (Phys.-Math.), professor (Saransk, Russia)
 Polina A. Ryabochkina, Dr.Sci. (Phys.-Math.), docent (Saransk, Russia)
 Vladimir N. Shchennikov, Dr.Sci. (Phys.-Math.), professor (Saransk, Russia)
 Aleksey V. Shorokhov, Dr.Sci. (Phys.-Math.), docent (Saransk, Russia)
 Andrey G. Smolyanov, Ph.D. (Phys.-Math.), docent (Saransk, Russia)
 Oleg B. Tomilin, Ph.D. (Phys.-Math.), docent (Saransk, Russia)
 Viktor A. Vasin, Dr.Sci. (Phys.-Math.), professor (Saransk, Russia)
 Aleksandr N. Zyuzin, Dr.Sci. (Phys.-Math.), professor (Saransk, Russia)

Engineering

- Svetlana A. Amelkina, Ph.D. (Engineering), docent (Saransk, Russia)
 Albert A. Ashryatov, Ph.D. (Engineering), docent (Saransk, Russia)
 Andrey D. Bogatov, Ph.D. (Engineering), docent (Saransk, Russia)
 Mikhail V. Chugunov, Ph.D. (Engineering), docent (Saransk, Russia)
 Anatoliy S. Fedorenko, Dr.Sci. (Engineering), professor (Saransk, Russia)
 Aleksey A. Gorbunov, Ph.D. (Engineering), docent (Saransk, Russia)
 Sergey N. Ivliyev, Ph.D. (Engineering), docent (Saransk, Russia)
 Valeriy A. Kamayev, Dr.Sci. (Engineering), professor (Volgograd, Russia)
 Andrey M. Kokinov, Dr.Sci. (Engineering), professor (Saransk, Russia)
 Olga Yu. Kovalenko, Dr.Sci. (Engineering), docent (Saransk, Russia)
 Sergey P. Kudayev, Ph.D. (Phys.-Math.), docent (Saransk, Russia)
 Eduard V. Mitin, Ph.D. (Engineering), docent (Saransk, Russia)
 Stepan A. Panfilov, Dr.Sci. (Engineering), professor (Saransk, Russia)
 Vladimir I. Rimshin, Dr.Sci. (Engineering), professor (Moscow, Russia)
 Leonid P. Shichkov, Dr.Sci. (Engineering), professor (Moscow, Russia)
 Grigoriy A. Zhivotovskiy, Dr.Sci. (Engineering), docent (Nizhniy Novgorod, Russia)

Earth science. Agricultural sciences

- Aleksandr V. Ivoylov, Dr.Sci. (Agriculture), professor (Saransk, Russia)
 Aleksandr V. Kaverin, Dr.Sci. (Agriculture), professor (Saransk, Russia)
 Valeriy N. Maslyayev, Ph.D. (Geography), docent (Saransk, Russia)
 Vladimir I. Matyayev, Dr.Sci. (Agriculture), professor (Saransk, Russia)
 Artur M. Nosonov, Dr.Sci. (Geography), docent (Saransk, Russia)
 Nikolay V. Smolin, Dr.Sci. (Agriculture), professor (Saransk, Russia)
 Leonid P. Teltsov, Nat.Sc.Dr., professor (Saransk, Russia)
 Anatoliy P. Velmatov, Dr.Sci. (Agriculture), professor (Saransk, Russia)
 Sergey V. Yemelyanov, Ph.D. (Agriculture), docent (Saransk, Russia)
 Aleksandr P. Yeryashev, Dr.Sci. (Agriculture), professor (Saransk, Russia)
 Aleksandr S. Zenkin, Dr.Sci. (Biology), professor (Saransk, Russia)

Научный журнал «Вестник Мордовского университета»

принимает не опубликованные ранее научные статьи и дискуссионные материалы научного характера (а также хронику, рецензии и обзоры) кандидатов и докторов наук, преподавателей, аспирантов и студентов старших курсов (в соавторстве).

Наименование и содержание рубрик журнала соответствуют отраслям науки и группам специальностей научных работников, согласно Номенклатуре специальностей научных работников:

01.04.00 Физика

05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление

05.20.00 Процессы и машины агроинженерных систем

14.01.00 Клиническая медицина

14.03.00 Медико-биологические науки

Журнал осуществляет научное рецензирование (двустороннее слепое) всех поступающих в редакцию материалов с целью экспертной оценки. Все рецензенты являются признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов. Рецензии хранятся в издательстве и редакции в течение 5 лет.

Редакция журнала направляет авторам представленных материалов копии рецензий или мотивированный отказ.

Редакция журнала направляет копии рецензий в Министерство образования и науки Российской Федерации при поступлении соответствующего запроса.

Журнал включен в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук» (Перечень ВАК).

Журнал индексируется и архивируется в базах данных:

Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

EBSCO

Index Copernicus

ResearchBib

SHERPA/Romeo

Журнал является членом Directory of Open Access Journals (DOAJ),

Комитета по этике научных публикаций,

Ассоциации научных редакторов и издателей (АНРИ) и Cross Ref

Материалы журнала доступны по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная





“Mordovia University Bulletin” journal

accepts scholarly articles and debatable academic materials not published before from holders of the following degrees: Ph.D., Dr.Sci., lecturer, post-graduate student and senior student (co-authored).

The titles and contents of the journal sections correspond to fields of science and specialty groups of scientists, according to the Nomenclature of scientific specialties:

- 01.04.00 Physics
- 05.13.00 Computer Science and Computer Facilities and Management
- 05.20.00 Agroengineering System Processes and Machines
- 14.01.00 Clinical Medicine
- 14.03.00 Medicobiological Sciences

All reviewers are acknowledged experts in the areas they are responsible for. Reviews are stored in the publishing house and publishing office during 5 years.

Editorial staff sends to the authors of the submitted materials copies of reviews or a substantiated refusal.

Editorial staff of the journal forwards copies of reviews in Ministry of Education and Science of the Russian Federation by request.

The journal is included in the “List of the leading peer-reviewed scientific journals and publications, where should be published the main results of dissertations for the degrees of Doctor and Candidate of sciences” (list of VAK).

The journal is indexed and archived by databases:

Russian Index of Scientific Citations

EBSCO

Index Copernicus

ResearchBib

SHERPA/Romeo

The journal is a member of Directory of Open Access Journals (DOAJ),
Cross Ref and ASEP

All the materials of the “Mordovia University Bulletin” journal are available under
Creative Commons “Attribution” 4.0 license





СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Скрябин В. А. Обработка деталей с различным наружным профилем уплотненным шлифовальным материалом	292
Овчинников А. Ю., Князева Н. Ю. Разработка методики построения комплексной детали при применении группового технологического процесса с использованием САПР «Т-Flex»	312
Галин Д. А., Ионов П. А., Назаркин А. С. Изменение программного обеспечения электронного блока управления бензинового двигателя автомобиля для оптимальной работы на сжиженном нефтяном газе	325

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ МЕДИЦИНА

Балыкова Л. А., Ивянский С. А., Громова Е. В., Варлашина К. А., Щёкина Н. В., Давыдов П. А. Патогенетические аспекты формирования дезадаптационных изменений сердечно-сосудистой системы, опосредованных физическими нагрузками	336
Блинова Е. В., Мелешкин А. И., Яхья М. Х. С., Василькина О. В., Ковышкин А. Г., Абросимов А. В., Курганов Н. А., Елизарова Ю. Н., Блинов Д. С. К вопросу об антиишемической и антигипоксической активности нового производного (RS) 4-нитро-N-[1-фенил-5(диэтиламино)пентил] бензамида	349
Захватов А. Н., Беляев А. Н., Кузнецов С. И., Аткина Н. А. Коррекция нарушений метаболизма суставного хряща и морфологическая оценка эффективности внутрисуставной озонотерапии при экспериментальном посттравматическом артрите	359

КЛИНИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

Масляков В. В., Дралина О. И., Власенко Ю. Б., Ким Л. М. Реологические свойства крови при базально-клеточном раке кожи в ближайшем послеоперационном периоде	370
Мамаева С. Н., Мунхалова Я. А., Конова И. В., Дьяконов А. А., Корякина В. Н., Шутова В. В., Максимов Г. В. Исследование эритроцитов крови методом растровой электронной микроскопии	381
Божченко А. П., Ригонен В. И. Дерматоглифика пальцев рук молодых мужчин с различной группой крови системы АВО: характер и природа взаимосвязи	391
Салахов Е. К., Власов А. П. Функциональное состояние печени и почек при применении миниинвазивных хирургических технологий в лечении перитонита	402
Информация для авторов и читателей (на рус. яз.)	411
Информация для авторов и читателей (на англ. яз.)	413



CONTENTS

ENGINEERING

Skryabin V. A. Treatment of details with different outward profile by close-settled polishing material	292
Ovchinnikov A. Yu., Knyazeva N. Yu. Development of a construction technique for the complex details in the application of group process with the use of CAD "T-flex"	312
Galin D. A., Ionov P. A., Nazarkin A. S. Changing the software of the electronic gasoline car engine control unit for optimum performance on LPG	325

FUNDAMENTAL MEDICINE

Balykova L. A., Ivyanskiy S. A., Gromova Ye. V., Varlashina K. A., Shhekina N. V., Davydov P. A. Pathogenesis aspects of formation of the disadaptation changes of cardiovascular system, coursed by intensive physical activities	336
Blinova Ye. V., Meleshkin A. I., Yakhya M. Kh. S., Vasilkina O. V., Kovyshkin A. G., Abrosimov A. V., Kurganov N. A., Yelizarova Yu. N., Blinov D. S. On anti-ischemic and anti-hypoxic activity of the novel compound of (rs) 4-nytro-n-[1-phenyl-5-(diethylamino)penthyl]benzamid	349
Zakhvatov A. N., Belyayev A. N., Kuznetsov S. I., Atkina N. A. Correction of metabolic disorders of the articular cartilage and morphological evaluation of intra-ozone therapy in experimental post-traumatic arthritis	359

CLINICAL MEDICINE

Maslyakov V. V., Dralina O. I., Vlasenko Yu. B., Kim L. M. The rheological properties of blood under basal cell skin cancer in the immediate postoperative period	370
Mamayeva S. N., Munkhalova Ya. A., Kononova I. V., Dyakonov A. A., Koryakina V. N., Shutova V. V., Maksimov G. V. The study of red blood cells by scanning electron microscopy	381
Bozhchenko A. P., Rigonen V. I. Dermatoglyphics of fingers in young men having different blood groups by ABO system: character and nature of interaction	391
Salakhov Ye. K., Vlasov A. P. Functional condition of a liver and kidneys at application of miniinvasive medical technologies in treatment of peritonitis	402
<i>Information for authors and readers of the journal (in Russian)</i>	411
<i>Information for authors and readers of the journal (in English)</i>	413

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

УДК 621.81:681.7.042

DOI: 10.15507/0236-2910.026.201603.292-311

ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ С РАЗЛИЧНЫМ НАРУЖНЫМ ПРОФИЛЕМ УПЛОТНЕННЫМ ШЛИФОВАЛЬНЫМ МАТЕРИАЛОМ

В. А. Скрябин*ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет»
(г. Пенза, Россия)*

Введение. В статье приведены особенности обработки различных поверхностей деталей незакрепленным шлифовальным материалом. Высокая эффективность финишной обработки деталей типа тел вращения со сложным профилем может быть достигнута с помощью незакрепленного шлифовального материала, уплотненного в камере статическим давлением сжатого воздуха через эластичную оболочку. Исследования качества обработки деталей типа дисков и кулачков осуществлялись на экспериментальной установке.

Материалы и методы. Обрабатываемые детали базировались и закреплялись на специальной оправке с эксцентриситетом в шпинделе установки, спроектированной на базе вертикального или радиально-сверлильного станка. При этом с целью повышения качественных показателей обрабатываемой поверхности детали камера совершала возвратно-поступательные движения с определенной скоростью и амплитудой. Одной из основных динамических характеристик процесса обработки деталей в уплотненной обрабатывающей среде является давление среды на поверхности детали посредством эластичной оболочки. Оно определяет характер протекания абразивного воздействия, поэтому исследование динамических характеристик метода обработки начинают с определения давления абразивной среды на деталь. Необходимо отметить, что для решения поставленной задачи в первом приближении были применены уравнения теории упругости. Это связано в первую очередь со спецификой свойств зернистых сред, которые при всестороннем сжатии ведут себя как упругодеформируемые твердые тела.

Результаты исследования. При расчетах величин давлений уплотненной абразивной среды автор исходил из условий, что данная среда находится в состоянии предельного равновесия. В статье приведены математические модели определения давления уплотненной абразивной среды на поверхность обрабатываемой детали и скорости резания; представлены схемные решения методов обработки и результаты практической реализации финишной обработки с целью достижения заданной величины шероховатости обрабатываемых поверхностей; приведены точностные параметры поверхностей деталей, обработанных незакрепленным шлифовальным материалом.

Обсуждение и заключение. Выполненные исследования показали, что при обработке деталей с планетарным вращением стабильное протекание процесса полирования обеспечивается при условии, что участок поверхности детали с отклонением от круглости имеет возможность контактировать с уплотненной абразивной средой минимум в течение времени, необходимого для полного поворота вокруг центральной оси ротора. За это время уплотненная абразивная среда успевает среагировать на изменение формы профиля детали.



Ключевые слова: детали с различным профилем, незакрепленный шлифовальный материал, методы обработки, шероховатость поверхностей деталей, давление уплотненной абразивной среды, скорость резания, уплотненная абразивная среда, полирование

Для цитирования: Скрябин В. А. Обработка деталей с различным наружным профилем уплотненным шлифовальным материалом. Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 3. С. 292–311. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201603.292-311

TREATMENT OF DETAILS WITH DIFFERENT OUTWARD PROFILE BY CLOSE-SETTLED POLISHING MATERIAL

V. A. Skryabin

Penza State University (Penza, Russia)

Introduction. The article deals with the treatment of different surfaces of details by unsupported polishing material. High efficiency of finish treatment of rotating body type details with difficult profile can be attained by treatment of details unsupported polishing material close-settled in a chamber static pressure of the compressed air through an elastic shell. The study of treatment quality of disks and fists was conducted in the experimental installation.

Materials and Methods. The workpieces were installed in a special frame with eccentricity in the spindle setup on the basis of the vertical or radial drilling machine. The camera reciprocating movement at a certain speed and amplitude. One of the main characteristics of the dynamic of processing pieces in the sealed environment is the fluid pressure on the workpiece surface by the elastic membrane. To solve the problem of elasticity equations were used in the first approximation.

Results. The author came from terms at the calculations that an abrasive environment is able limit equilibrium. The mathematical models are driven on determination of pressure of close-settled abrasive environment on a surface processed of details and cutting speeds. The schematics of methods of treatment and results of practical realization of finish treatment are presented with the purpose of achievements of the set size of roughness of the processed surfaces.

Discussion and Conclusions. The research have shown that the processing of parts rotating with planetary polishing process stable flow is provided under the condition that a portion of the workpiece surface deviation from circularity is able to communicate with the densified abrasive medium at least during the time necessary for a complete rotation about a central axis of the rotor. During this time the compacted abrasive media has time to react to the changing shape of the part profile.

Keywords: different profile details, unsupported polishing material, methods of treatment, roughness of surfaces of details, pressure of close-settled abrasive environment, speed of cutting, close-settled abrasive environment, polishing

For citation: Skryabin V.A. Treatment of details with different outward profile by close-settled polishing material. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2016; 3(26):292-311. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201603.292-311

Введение

Высокая эффективность финишной обработки деталей типа тел вращения с различным профилем может быть достигнута незакрепленным абразивным материалом, уплотненным в камере статическим давлением сжатого воздуха через эластичную оболочку [1–5].

Установлено, что большое влияние на производительность и качество финишной операции оказывает кинематика относительного движения эксцентричной оправки с деталью относительно неподвижной абразивной обрабатываемой среды, а также площадь их контактирования.

Материалы и методы

Исследования производительности и качества обработки деталей типа дисков и кулачков осуществлялись на экспериментальной установке, схема которой и общий вид показаны на рис. 1–2 соответственно [3; 6].

Установка закреплена на столе вертикально-сверлильного или радиально-сверлильного станка и соединена с его шпинделем. Работа такого устройства осуществляется следующим образом. Обрабатываемую деталь 2 закрепляют на оправке 3, которая устанавливается на вал ротора 10. Перемещение оси оправки относительно оси ротора обеспечивается шарнирным поводком 9 с шариками 8. Ротор помещают в камеру 7 с эластичными стенками 6, заполненную абразивной средой 5, и сообщают ему вращение со скоростью $\omega = V / (E + R)$. Максимальная величина угловой скорости – 10 рад/с. В кольцевую полость камеры 4 подают воздух под давлением, в результате чего среда 5 уплотняется и точно копирует форму профиля погруженной в нее детали. Камере 7 посредством зубчатой передачи 1 сообщается вращательное движение от приводного вала 11. При этом она совершает

возвратно-поступательное движение вдоль оси вращения, перемещаясь относительно неподвижных кулачков 13, входящих в зацепление с кулачковой прорезью 14 камеры. Для уменьшения нагрузки на кулачки служит демпфирующая пружина 12.

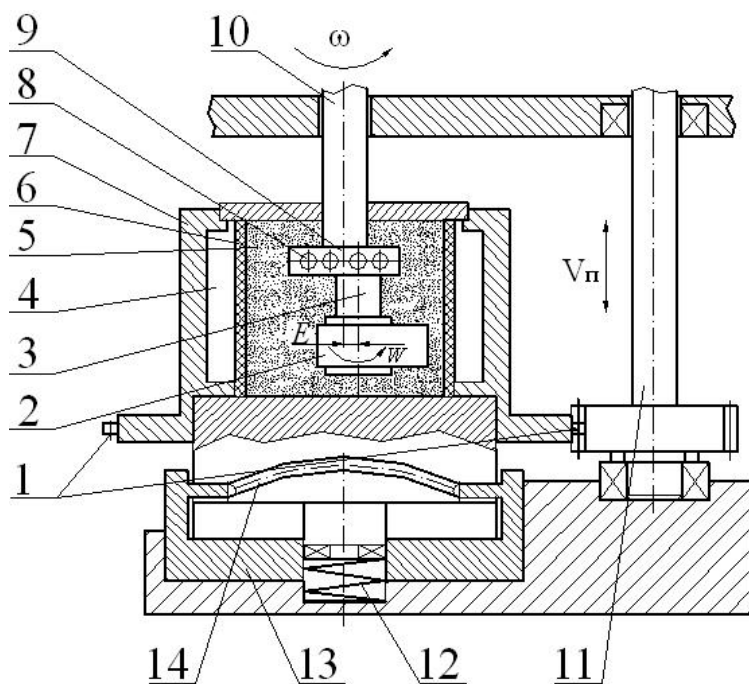
Время выравнивания давления (заполнения возникшего зазора между поверхностью детали и абразивной средой) зависит от инерционности среды. Для эффективной обработки всего контура, имеющего отклонение от круглости, требуется обеспечить равномерную интенсивность воздействия на все его точки. Для этого необходимо определить эксцентриситет E оси оправки относительно оси ротора. Эксцентриситет определяется следующим образом:

$$E = 0,5D - r, \quad (1)$$

где D – диаметр описанной окружности детали, $\text{м} \cdot 10^{-3}$; r – радиус смещения, $\text{м} \cdot 10^{-3}$ (рис. 1).

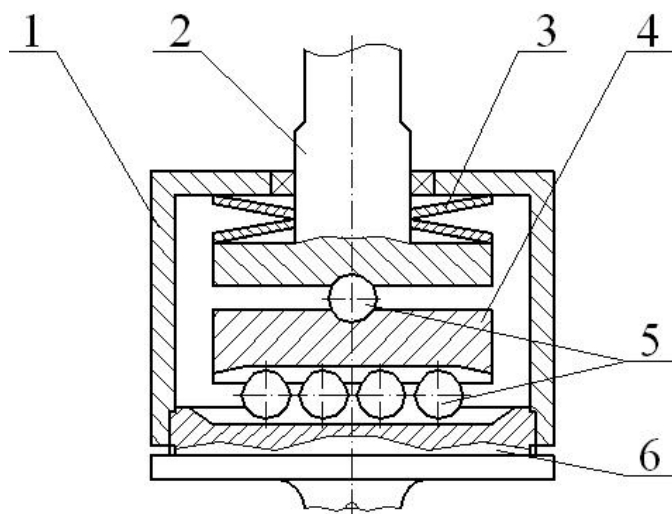
Необходимо отметить, что угловую скорость выбирают в зависимости от твердости материала детали. Однако при высокой угловой скорости вращения детали этого недостаточно, чтобы гарантировать равномерность обработки всего контура. В этом случае на качество обработки начинает оказывать влияние даже незначительное отклонение контура от круглости, а инерционность абразивной среды не позволяет уменьшить время выравнивания давления до определенной величины.

Для обеспечения непрерывности контакта поверхности детали с абразивной средой предлагается крепить деталь на роторе посредством эксцентричной оправки, самоустанавливающейся под воздействием сил резания. Конструкция такой оправки приведена на рис. 2.



Р и с. 1. Схема установки, реализующей способ обработки

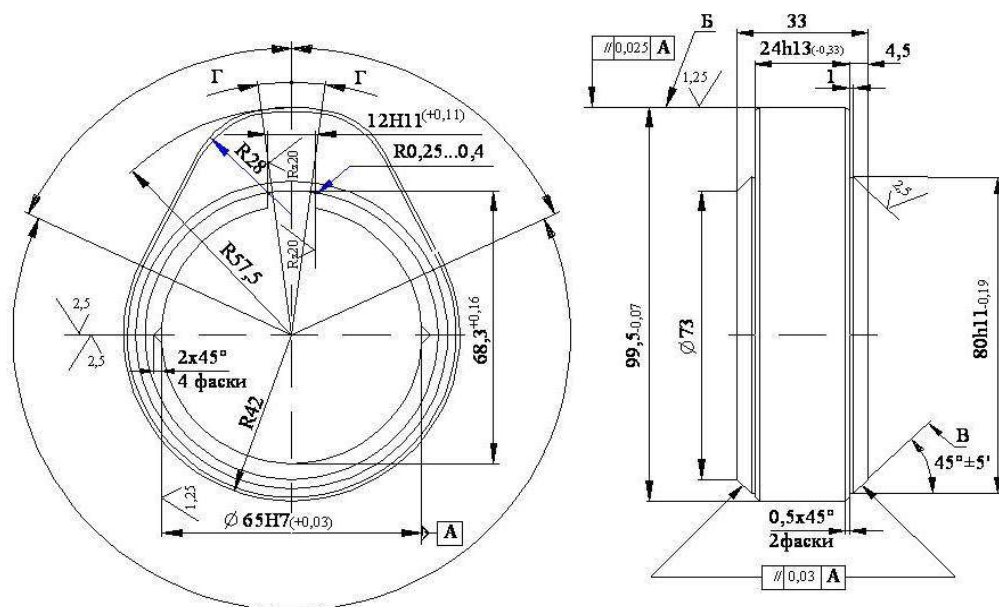
F i g. 1. Chart of setting, realizing the method of treatment



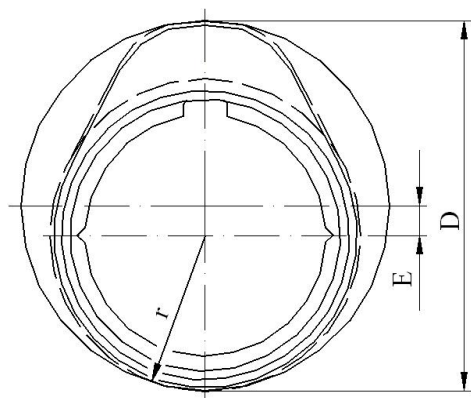
Р и с. 2. Конструкция самоустанавливающейся оправки

F i g. 2. Construction of the self-aligning mounting

Технические науки



Р и с. 4. Опытный образец детали (кулачок распредвала дизеля 1-517ПДГ.92.15), использованный при проведении исследований
 F i g. 4. Pre-production model of detail (fists of распредвала of дизеля 1-517ПДГ.92.15), taken during realization of researches



Р и с. 5. Схема определения эксцентриситета оси оправки относительно оси ротора
 F i g. 5. Chart for determination of excentricity of axis of mounting in relation to the axis of rotor

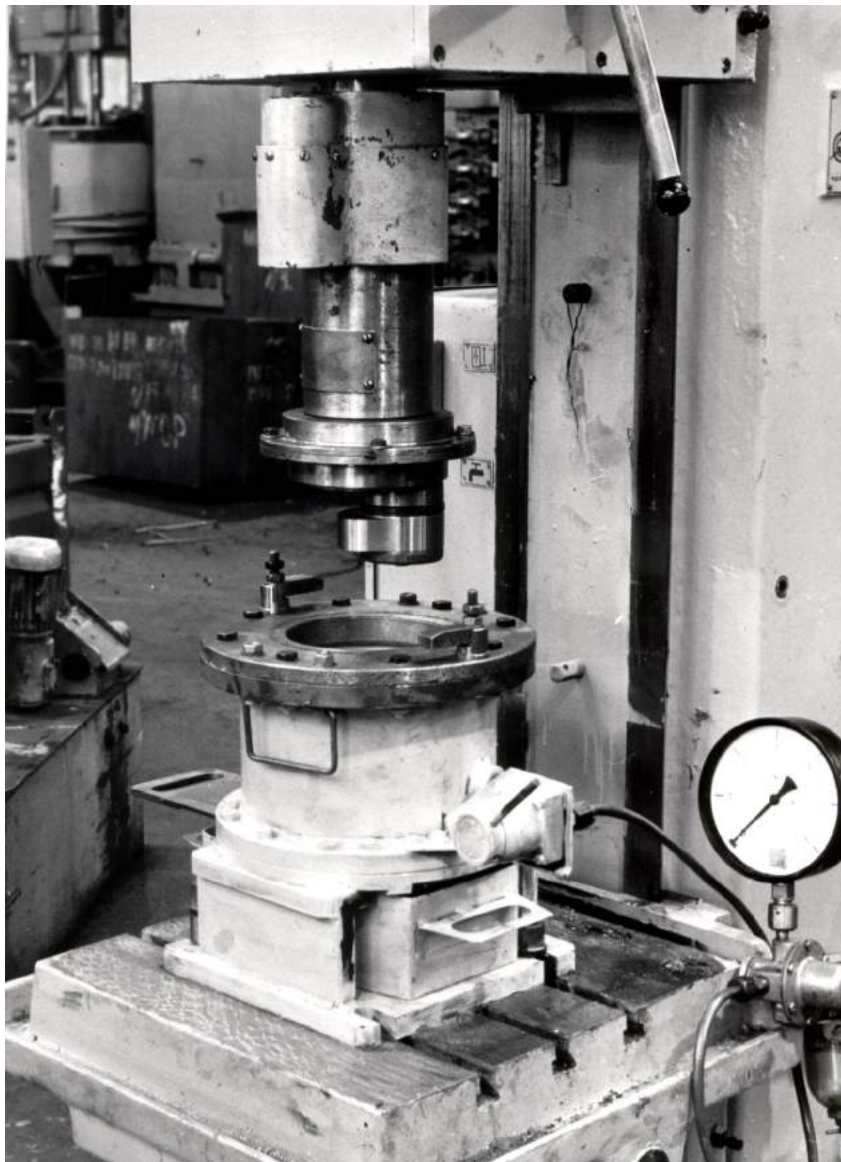
Предлагаемое устройство для полирования деталей камерным способом состоит из камеры, блока подготовки воздуха, шпинделя и эксцентричной оправки (рис. 6). Для обеспечения работы устройства требуется источник

сжатого воздуха с давлением не ниже 0,2 МПа.

Камера, через пневмораспределитель соединенная с блоком подготовки воздуха, устанавливается на столе вертикально-сверлильного станка

и крепится болтами. Блок подготовки воздуха включает в себя вентиль муфтовый РУ16ДУ ГОСТ 9086-74, клапан 122-12 ГОСТ 18468-79, манометр МТ-1Ф60-10-74 ГОСТ 8628-77, фильтр влагоотделитель 22-10-80

ГОСТ 17437-81, обратный клапан 10-2-УХЛ4 ГОСТ 21324-83. Данный блок монтируется на корпусе станка в месте, удобном для обслуживания, и соединяется с источником сжатого воздуха.



Р и с. 6. Общий вид варианта промышленной установки для полирования деталей предлагаемым камерным способом в уплотненной обрабатывающей среде

F i g. 6. General view of variant of the industrial setting for polishing of details the offered vitrol-chamber in a close-settled processing environment



Основные характеристики установки:

1. Класс точности станка – Н
2. Объем рабочей камеры, л: 2,5; 4,5; 7,0
3. Объем контейнера для сбора наполнителя, л: 2,5; 4,5; 7,0
4. Наибольшая масса обрабатываемых деталей, кг – 5,0
5. Суммарная масса обрабатываемых деталей, не более, кг – 5,0
6. Длина обрабатываемой детали, мм – наибольшая, 400
7. Диаметр цилиндрических деталей, не более, мм – 300
8. Частота вращения ротора, мин⁻¹: 68, 100, 140, 195, 275, 400, 530, 750, 1 100
9. Давление воздуха в сети, Мпа – 0,4–0,6
10. Количество одновременно обрабатываемых деталей, шт. – 1–80
11. Потребляемая мощность, кВт – 1,5–3
12. Род тока – трехфазный, переменный
13. Напряжение, В – 380
14. Масса установки, кг – 25
15. Машинное время обработки, мин – 1–5
16. Габаритные размеры, мм – 415×300×670

При эксплуатации установок подобного типа перед началом работы необходимо проверить надежность крепления камеры на столе станка, после чего приготовить рабочую смесь и засыпать ее внутрь камеры, очистить оправку от загрязнений, установить и закрепить на ней деталь. В дальнейшем нужно опустить шпиндель станка вниз до упора и зажать верхнюю крышку специальными поворотными рычагами. После этого следует установить с помощью клапана 122-12 ГОСТ 18468-79 и манометра МТ-1 (Ф-60-10-4) ГОСТ 8628-77 требуемую величину давления воздуха, подводимого к эластичной стенке камеры и частоту вращения шпинделя. Установка давления воздуха и частоты вращения шпинделя производится перед началом каждой

рабочей смены. После этого необходимо включить привод станка и произвести обработку деталей.

По окончании цикла обработки нужно отключить подачу воздуха, выключить вращение шпинделя станка, открыть крышку и освободить деталь. Следует отметить, что отсчет времени обработки выполняется специальным реле времени.

Замена рабочей среды производится после сильного ее истирания или загрязнения. Для этого необходимо выдвинуть отсекаТЕЛЬ, освободить окно в нижней части рабочей емкости и протолкнуть рабочую среду в выдвижной ящик, находящийся под камерой. После этого отсекаТЕЛЬ задвигается и производится новая загрузка рабочей среды в камеру установки.

Результаты исследования

Проведенные экспериментальные исследования показывают, что на качество формируемой поверхности детали при камерной обработке оказывают влияние в основном следующие параметры: давление воздуха, прикладываемое к эластичной оболочке, зернистость абразивного материала, твердость детали, соотношение диаметральных размеров детали и эластичной оболочки при обработке.

Уплотненный абразивный слой обладает определенной инерционностью. При взаимодействии с поверхностью детали типа кулачка в первую очередь обрабатываются участки поверхности максимального диаметра, а участки поверхности минимального диаметра – настолько, насколько позволяет инерционность уплотненной обрабатывающей среды. Исходя из того что основное абразивное воздействие на деталь оказывается уплотненной обрабатывающей средой, для обеспечения всесторонней обработки поверхности необходимо при ее вращении осуществлять разрушение уплотненного абразивного слоя относительно контура детали.

Одной из основных динамических характеристик процесса обработки деталей в уплотненной обрабатывающей среде является давление среды на поверхности детали посредством эластичной оболочки. Оно определяет характер протекания абразивного воздействия, поэтому исследование динамических характеристик метода обработки необходимо начинать с определения давления абразивной среды на деталь.

Необходимо отметить, что для решения поставленной задачи в первом приближении могут быть применены уравнения теории упругости [9]. Это связано в первую очередь со спецификой свойств зернистых сред, которые при всестороннем сжатии ведут себя как упругодеформируемые твердые тела.

При расчетах величин давлений уплотненной абразивной среды следует исходить из условия, что абразивная среда находится в состоянии предельного равновесия [10].

Для прогнозирования качества камерной обработки в среде незакрепленного абразива важное значение имеет распределение давления по поверхности контакта детали с обрабатывающей средой. Считая деталь недеформируемым телом, на поверхности ее контакта с абразивной средой справедливо следующее соотношение [11]:

$$q = kp, \quad (1)$$

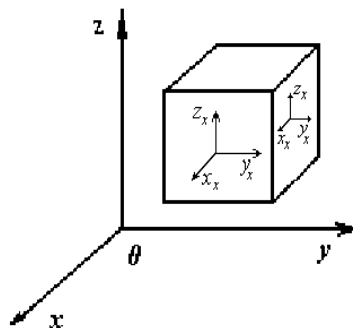
где p и q – нормальное и касательное давление, действующее на обрабатываемую среду соответственно; k – коэффициент трения скольжения между поверхностью детали и обрабатывающей средой, принимаемый во всех точках контакта постоянным.

На элементы поверхности детали действуют нормальная P_0 и сдвигающая Q_0 силы, которые связаны между собой отношением $Q_0 = kP_0$.

Определим распределение давления по поверхности контакта для уравнений равновесия:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial X_x^p}{\partial x} + \frac{\partial X_y^p}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial X_y^p}{\partial x} + \frac{\partial Y_y^p}{\partial y} &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где X_x^p – нормальная компонента напряжения, действующего на площадку, которая перпендикулярна к оси OX ; X_y^p – касательная компонента напряжения, действующего на площадку, которая перпендикулярна к оси OY ; Y_y^p – нормальная компонента напряжения, действующего на площадку, которая перпендикулярна к оси OY (рис. 7).



Р и с. 7. Распределение давления по поверхности контакта

F i g. 7. Distribution of pressure on the surface of contact

В уравнениях равновесия отсутствуют компоненты объемных сил, которые должны учитываться при обработке уплотненной средой. Однако от данных сил зависит только абсолютная величина давления абразива на поверхность детали, но не характер распределения. Именно поэтому в данном случае используются уравнения равновесия вида, в которых компоненты объемных сил равны нулю.



Зависимость для определения функции $\Phi(Z)$, характеризующей плоское напряженное состояние обрабатываемой среды, имеет следующий вид:

$$\Phi(Z) = \frac{2\mu(1+ik)\exp(\pi i\alpha)\cos(\pi\alpha)}{\pi(ae+1)(Z-a)^{\frac{1}{2}+\alpha}(b-Z)^{\frac{1}{2}-\alpha}} \times \\ \times \int_a^b \frac{(t-a)^{\frac{1}{2}+\alpha}(b-t)^{\frac{1}{2}-\alpha} f(t) dt}{t+Z} + \\ + \frac{P_0(1+ik)\exp(\pi i\alpha)}{2\pi(Z-a)^{\frac{1}{2}+\alpha}(b-Z)^{\frac{1}{2}-\alpha}}, \quad (3)$$

где $f(t)$ – функция, определяющая профиль детали, а именно: $y = f(t)$ – уравнение этого профиля; Z – комплексное переменное число; t – абсцисса точки оси OX на поверхности контакта детали с абразивным слоем; ab – дуга контакта поверхности детали с обрабатываемой средой; P – нормальная сила, приложенная к детали на единицу ее длины;

$$\alpha = (1/\pi)\arctg[k(ae-1)/(ae+1)];$$

$$ae = (\lambda + 3\mu)/(\lambda + \mu) = 3 - \nu,$$

где λ , μ – постоянные Ламе, которые связаны с модулем упругости E (модулем Юнга) и коэффициентом Пуассона ν следующими соотношениями:

$$E = \mu(3\lambda + 2\mu)/(\lambda + \mu);$$

$$\nu = \lambda/[2(\lambda + \mu)].$$

Если деталь представляет собой цилиндр радиуса R , уравнение ее про-

филя (в зависимости от переменной t) можно получить путем замены дуги окружности дугой параболы, которая имеет ту же кривизну в вершине:

$$f(t) = \frac{t^2}{2R}. \quad (4)$$

Разложив в биномиальный ряд выражение $(Z-a)^{\frac{1}{2}+\alpha}(b-Z)^{\frac{1}{2}-\alpha}$, при больших по модулю Z получим:

$$(Z-a)^{\frac{1}{2}+\alpha}(b-Z)^{\frac{1}{2}-\alpha} = \\ = -i \left\{ Z^2 - \left[a\left(\frac{1}{2} + \alpha\right) + b\left(\frac{1}{2} - \alpha\right) \right] - \right. \\ \left. - \left(\frac{1}{4} - \alpha^2\right) \frac{(a-b)^2}{2} \right\} + \\ + O(1/Z), \quad (5)$$

где $O(1/Z)$ – величина $|O(1/Z)| \leq (\varepsilon/Z)$. Здесь ε зависит лишь от $|Z|$ и стремится к нулю при $|Z|$, стремящейся к бесконечности.

С учетом этого уравнения значение определенного интеграла в формуле (4) примет следующий вид:

$$\int_a^b \frac{(t-a)^{\frac{1}{2}+\alpha}(b-t)^{\frac{1}{2}-\alpha} f(t) dt}{t-Z} = \\ = \pi i \left\{ Z(Z-a)^{\frac{1}{2}-\alpha}(b-Z)^{\frac{1}{2}+\alpha} + \right. \\ \left. + i \left\{ Z^2 - \left[a\left(\frac{1}{2} + \alpha\right) + b\left(\frac{1}{2} - \alpha\right) \right] \times \right. \right. \\ \left. \left. \times Z - \left(\frac{1}{4} - \alpha^2\right) \frac{(a-b)^2}{2} \right\} \right\}. \quad (6)$$

Используя уравнение (5), перепишем функцию (2):

$$\Phi(Z) = \frac{(1+ik)\exp(\pi i\alpha)}{2\pi(a\epsilon+1)(Z-a)^{\frac{1}{2}+\alpha}(b-Z)^{\frac{1}{2}-\alpha}R} \times \left\{ P_0R(\epsilon+1) - 4\pi\mu \cos(\pi\alpha) \left\{ Z^2 - \left[a\left(\frac{1}{2}+\alpha\right) + b\left(\frac{1}{2}-\alpha\right) \right] Z - \left(\frac{1}{4}-\alpha^2\right) \frac{(a-b)^2}{2} \right\} + \frac{2\mu(1+ik)\exp(\pi i\alpha)\cos(\pi\alpha)Zi}{R(\epsilon+1)} \right\}. \quad (7)$$

Распределение давления по поверхности контакта детали с обрабатывающей средой можно определить с помощью формулы Сохоцкого-Племеля:

$$P(t) = \frac{\Phi^+(t) - \Phi^-(t)}{(1+ik)}, \quad (8)$$

где $\Phi^+(t)$ и $\Phi^-(t)$ – пределы функции $\Phi(Z)$ при Z , стремящейся к t слева и справа соответственно. Они связаны между собой следующей зависимостью:

$$\Phi^-(t) = f_0(t) - \Phi^+(t),$$

где

$$f_0(t) = \frac{4i\mu(1+ik)\exp(\pi i\alpha)\cos(\pi\alpha)t}{R(\epsilon+1)}.$$

На основе уравнений (5–6) зависимость, действительная часть которой определяет формулу для распределения давления по поверхности контакта детали с обрабатывающей средой, примет следующий вид:

$$P(t) = \frac{\cos(\pi\alpha)}{\pi R(\epsilon+1)} \times \frac{P_0R(\epsilon+1) - 4\pi\mu \cos(\pi\alpha)}{(t-a)^{\frac{1}{2}+\alpha}(b-t)^{\frac{1}{2}-\alpha}} \times \left\{ t^2 - \left[a\left(\frac{1}{2}+\alpha\right) + b\left(\frac{1}{2}-\alpha\right) \right] t - \left[-\left(\frac{1}{4}-\alpha^2\right) \frac{(a-b)^2}{2} \right] \right\}. \quad (9)$$

Для контакта детали с обрабатывающей средой $ab = 2\pi R$, где R – радиус обрабатываемой детали. В случае равенства координат начальной a и конечной b точки дуги контакта справедливо равенство:

$$P(t) = \frac{\cos(\pi\alpha)}{\pi R(\epsilon+1)} \times \frac{P_0R(\epsilon+1) - 4\pi\mu \cos(\pi\alpha)}{(t-a)^{\frac{1}{2}+\alpha}(b-t)^{\frac{1}{2}-\alpha}} \times \left\{ t^2 - \left[a\left(\frac{1}{2}+\alpha\right) + b\left(\frac{1}{2}-\alpha\right) \right] t \right\}. \quad (10)$$

Таким образом, используя формулу (10), можно прогнозировать распределение давления по поверхности контакта детали с обрабатывающей средой.

При исследовании напряжения в деталях типа колец, дисков, криволинейных стержней узкого прямоугольного поперечного сечения удобно использовать полярные координаты, которые определяются углом θ , радиус-вектором r и некоторой осью OX , фиксированной в рассматриваемой плоскости (рис. 8) [12–14].

Рассмотрим равновесие малого элемента $1\ 2\ 3\ 4$, вырезанного из пластинки радиальным сечением 04 , 02 , нормальными к пластинке, и двумя цилиндрическими поверхностями 3 , 1 , также нормальными к плоскости пластинки.

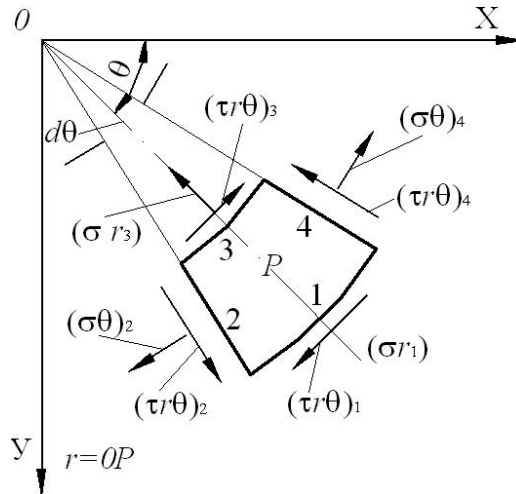
При этом считаем, что каждый символ представляет напряжение в точке r , θ , которая находится в центре элемента точки P . С учетом изменения напряжения его значения в центре сторон 1 , 2 , 3 , 4 не будут в точности равны σ_r , σ_θ , $\tau_{r\theta}$, и их можно обозначить $(\sigma_r)_1$ и т. д., как показано на рис. 8. Радиусы сторон 3 , 1 обозначим r_3 и r_1 соответственно.

Усилие, действующее в радиальном направлении по стороне 1 , равно $(\sigma_r)_1 \cdot r_1 \cdot d\theta$, что можно записать также в виде $(\sigma_r \cdot r)_1 \cdot d\theta$; усилие,



действующее в радиальном направлении по стороне 3, – $(\sigma_r \cdot r)_3 \cdot d\theta$. Компонента нормального усилия, действующего по стороне 2 вдоль радиуса, проходящего через точку P , равна $(\sigma_\theta)_2 \cdot (r_1 - r_2) \cdot \sin(d\theta/2)$, или

$(\sigma_\theta)_2 \cdot dr \cdot (d\theta/2)$; соответствующая компонента усилия, действующего по стороне 4, равна $(\sigma_\theta)_4 \cdot dr \cdot (d\theta/2)$. Касательные усилия на сторонах 2 и 4 определяются следующим образом: $[(\tau_{r\theta})_2 - (\tau_{r\theta})_4] \cdot dr$ [14].



Р и с. 8. Система полярных координат при равновесии малого элемента обрабатываемой уплотненной среды (σ_r – нормальная компонента напряжения в радиальном направлении; σ_θ – в окружном направлении; $\tau_{r\theta}$ – касательная компонента)

F i g. 8. System of arctic coordinates at the equilibrium of small element of processing close-settled environment (σ_r – normal stress component in the radial direction; σ_θ – in the circumferential direction; $\tau_{r\theta}$ – tangential component)

Предположим, кроме того, что объемная сила имеет в радиальном направлении компоненту R . Проектируя все силы на радиальное направление, получим уравнение равновесия в следующем виде:

$$(\sigma_r \cdot r)_1 \cdot d\theta - (\sigma_r \cdot r)_3 \cdot d\theta - (\sigma_\theta)_2 \cdot dr \cdot (d\theta/2) - (\sigma_\theta)_4 \cdot dr \cdot (d\theta/2) + [(\tau_{r\theta})_2 - (\tau_{r\theta})_4] \cdot dr + R \cdot r \cdot d\theta \cdot dr = 0.$$

После деления на $dr \cdot d\theta$ это уравнение имеет вид:

$$[(\sigma_r \cdot r)_1 - (\sigma_r \cdot r)_3] / dr - 1/2 [(\sigma_\theta)_2 - (\sigma_\theta)_4] + [(\tau_{r\theta})_2 - (\tau_{r\theta})_4] / d\theta + R \cdot r = 0. \quad (11)$$

Если размеры элемента уменьшаются и в пределе становятся равными нулю, первый член уравнения в пределе обращается в $d(\sigma_r \cdot r)/dr$, второй становится равным σ_θ , третий – $d\tau_{r\theta}/d\theta$. Проецируя все силы на окружное направление, получим второе уравнение. Окончательно эти два уравнения равновесия имеют вид:

$$d\sigma_r/dr + (1/r) \cdot (d\tau_{r\theta}/d\theta) + (\sigma_r - \sigma_\theta)/r + R = 0;$$

$$(1/r) \cdot (d\sigma_\theta/d\theta) + d\tau_{r\theta}/dr + 2\tau_{r\theta}/r + S = 0, \quad (12)$$

где S – компонента объемной силы в кольцевом направлении (в сторону увеличения θ).

С определенными допущениями можно считать, что аналогичное упру-

гое состояние присутствует при всестороннем сжатию обрабатываемой среды при камерном методе обработки. Если объемные силы (силы инерции) равны нулю, что характерно для камерного полирования поверхностей деталей, то согласно уравнениям (10), получим зависимости для определения компонент напряжений в частных производных [14]:

$$\sigma_r = (1/r) \cdot (d\phi/dr) + (1/r^2) \cdot (d^2\phi/d\theta^2),$$

$$\sigma_\theta = d^2\phi/dr^2,$$

$$\begin{aligned} \tau_{r\theta} &= (1/r^2) \cdot (d\phi/d\theta) - (1/r) \cdot (d^2\phi/(dr/d\theta)) = \\ &= - (d/dr) \cdot [(1/r) \cdot (d\phi/d\theta)], \end{aligned} \quad (13)$$

где ϕ – функция напряжений, зависящая от r и θ .

Функция напряжений должна удовлетворять следующему дифференциальному уравнению:

$$\begin{aligned} [d^2/dr^2 + (1/r) \cdot (d/dr) + (1/r^2) \cdot (d^2/d\theta^2)] \cdot [d^2\phi/dr^2 + (1/r) \cdot (d\phi/dr) + (1/r^2) \cdot \\ \cdot (d^2\phi/d\theta^2)] = 0. \end{aligned}$$

Из различных решений данного уравнения в частных производных можно получить решения двумерных задач в полярных координатах при различных граничных условиях.

Руководствуясь экспериментальными данными о равномерном характере распределения давления обрабатываемой среды на поверхность детали, предположим, что в данном способе обработки имеет место полярно-симметричное распределение напряжений. При этом функция напряжений ϕ зависит только от r , и уравнение (13) примет следующий вид:

$$\begin{aligned} [d^2/dr^2 + (1/r) \cdot (d/dr)] \cdot [d^2\phi/dr^2 + \\ + (1/r) \cdot (d\phi/dr)] = d^4\phi/dr^4 + (2/r) \cdot (d^3\phi/dr^3) - \\ - (1/r^2) \cdot (d^2\phi/dr^2) + (1/r^3) \cdot (d\phi/dr) = 0. \end{aligned} \quad (14)$$

Это дифференциальное уравнение решается методом Эйлера. Умножим его на r^4 :

$$\begin{aligned} r^4 \cdot (d^4\phi/dr^4) + 2r^3 \cdot (d^3\phi/dr^3) - \\ - r^2 \cdot (d^2\phi/dr^2) + r \cdot (d\phi/dr) = 0. \end{aligned}$$

Составим характеристическое уравнение:

$$\begin{aligned} \lambda \cdot (\lambda - 1) \cdot (\lambda - 2) \cdot (\lambda - 3) + \\ + 2\lambda \cdot (\lambda - 1) \cdot (\lambda - 2) - \lambda \cdot (\lambda - 1) + \lambda = 0. \end{aligned}$$

Раскрыв скобки и приведя подобные члены, получим:

$$\lambda^4 - 4\lambda^3 + 4\lambda^2 = 0; \quad \lambda^2 \cdot (\lambda^2 - 4\lambda + 4) = 0;$$

$$\lambda^2 \cdot (\lambda - 2)^2 = 0.$$

Находим корни уравнения (они будут кратными):

$$\lambda_1 = \lambda_2 = 0; \quad \lambda_3 = \lambda_4 = 2.$$

Таким образом, получим общее решение уравнения (14), содержащее 4 постоянных интегрирования, которые должны быть определены:

$$\phi = (c_1 + c_2 \cdot \ln r) \cdot r^2 + c_3 + c_4 \cdot \ln r. \quad (15)$$

Из данного равенства можно получить решение ряда задач о полярно-симметричном распределении напряжений без учета объемных сил. Соответствующие компоненты напряжений, согласно уравнению (15) имеют вид:

$$\begin{aligned} \sigma_r &= (1/r) \cdot (d\phi/dr) = -c_4/r^2 + c_2 \cdot (1 + 2\ln r) + 2c_1; \\ \sigma_\theta &= d^2\phi/dr^2 = -c_4/r^2 + c_2 \cdot (3 + 2\ln r) + 2c_1; \\ \tau_{r\theta} &= 0. \end{aligned} \quad (16)$$

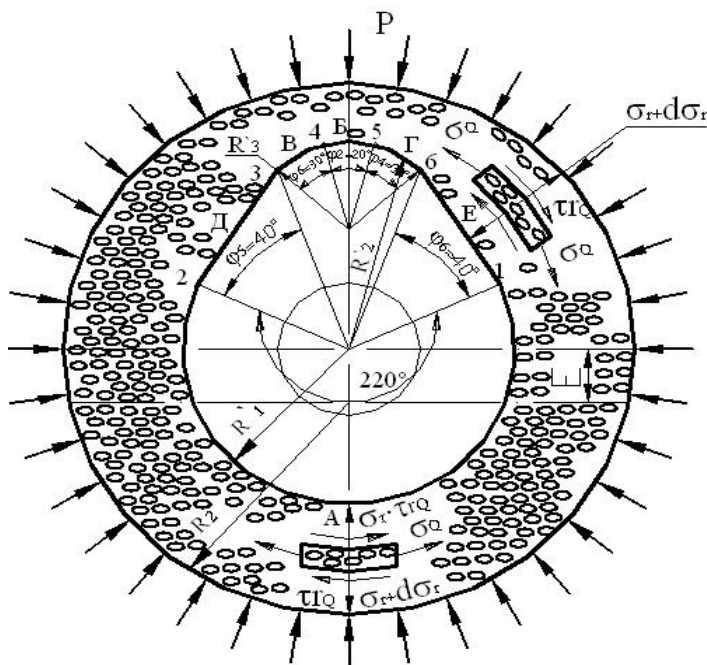
Если в начале координат нет отверстия, постоянные c_4 и c_2 обращаются



в нуль, поскольку в ином случае при $r = 0$ эти компоненты становятся неограниченно большими. Следовательно, для обрабатываемой среды, моделируемой твердым телом без отверстия в начале координат и при отсутствии объемных сил, может существовать только одно полярно-симметричное распределение напряжений, при котором $\sigma_r = \sigma_\theta = \text{const}$ и данная среда нахо-

дится в условиях однородного сжатия во всех направлениях своей плоскости.

Определение давления абразивной среды на обрабатываемую деталь типа кулачка механизма газораспределения дизеля проведем по схеме, исходя из уравнений равновесия элементарного объема среды и условий отсутствия деформаций в направлении оси OZ (рис. 9).



Р и с. 9. Схема для определения давления уплотненной абразивной среды на обрабатываемую деталь типа кулачка

F i g. 9. Chart for determination of pressure of close-settled abrasive environment on the workpart of type of fist

Разбив представленную на рисунке фигуру на ряд областей, определим компоненты напряжений в радиальном направлении при соответствующих граничных условиях:

Область А: $u = 0$; $\tau_{r\theta 1} = 0$; $r = R_1'$; $0 \leq \varphi_1 \leq 220^\circ$; $\sigma_r = R_1' = \sigma_{\theta 1} = P_1'$.

Область Б: $u = 0$; $\tau_{r\theta 2} = 0$; $r = R_2'$; $0 \leq \varphi_2 \leq 20^\circ$; $\sigma_r = R_2' = \sigma_{\theta 2} = P_2'$.

Область В: $u = 0$; $\tau_{r\theta 3} = 0$; $r = R_3'$; $0 \leq \varphi_3 \leq 30^\circ$; $\sigma_r = R_3' = P_3'$.

Область Г: $u = 0$; $\tau_{r\theta 4} = 0$; $r = R_4'$; $0 \leq \varphi_4 \leq 30^\circ$; $\sigma_r = R_4' = P_4'$.

Область Д и Е: $u = 0$; $\tau_{r\theta 5} = 0$; $r = R_5'$; $0 \leq \varphi_5 \leq 40^\circ$; $\sigma_r = P_5'$,

где u – радиальная компонента перемещения упругой обрабатываемой среды.

По вышеприведенным зависимостям определим давление обрабатываемой среды на все участки поверхностей кулачка.

В качестве обрабатываемой среды выступает шлифовальный порошок зернистостью 10 из электрокорунда белого марки 25А с параметрами зерна $2a = 100 \text{ мкм} = 0,1 \text{ мм}$, $2c = 56 \text{ мкм} = 0,056 \text{ мм}$. Материалом детали служит сталь 18Х2Н4МА твердостью 600 НВ. Конечная шероховатость поверхности $R_a = 0,07 \text{ мкм}$.

Для области А радиус $R'_1 = 45 \text{ мм}$, а радиус эластичной оболочки $R'_2 = 225 \text{ мм}$. В этом случае сила, действующая на единичное абразивное зерно рабочей среды, определяется следующим образом [4]:

$$P_2 = [(\pi \cdot HB) / (2\sqrt{c})] \cdot (5 \cdot R'_a / 1,3)^{3/2} \cdot (c + a - 0,67 \cdot \sqrt{c \cdot a}) = [(3,1415 \cdot 600) / (2 \cdot \sqrt{0,028})] \cdot (5 \cdot 10^{-5} / 1,3) \cdot (0,028 + 0,05 - 0,67 \cdot \sqrt{0,028 \cdot 0,05}) = 15,54 \cdot 10^{-3} \text{ кг} (15,54 \cdot 10^{-2} \text{ Н}),$$

где a и c – большая и малая полуоси элементов абразивных зерен, моделируемых эллипсоидом вращения, соответственно.

Определим давление обрабатываемой среды:

$$P'_1 = P_2 \cdot \{1 - [(R'_1)^2 - R_2^2] / [(R'_1)^2 + ((1+\nu) \cdot (1-\nu)) \cdot R_2^2]\} = 15,54 \cdot 10^{-3} \cdot \{1 - [45^2 - 225^2] / [45^2 + ((1+0,2) \cdot (1-0,2)) \cdot 225^2]\} = 0,095 \text{ МПа},$$

где ν – коэффициент Пуассона обрабатываемой среды.

Для области Б радиус $R'_2 = 58 \text{ мм}$, а $R_2 = 225 \text{ мм}$:

$$P'_2 = 15,54 \cdot 10^{-3} \cdot \{1 - [58^2 - 225^2] / [58^2 + ((1+0,2) \cdot (1-0,2)) \cdot 225^2]\} = 0,093 \text{ МПа}.$$

Для областей В и Г радиусы $R'_3 = R'_4 = 28 \text{ мм}$, $R_2 = 225 \text{ мм}$:

$$P'_3 = P'_4 = 15,54 \cdot 10^{-3} \cdot \{1 - [28^2 - 225^2] / [28^2 + ((1+0,2) \cdot (1-0,2)) \cdot 225^2]\} = 0,093 \text{ МПа}.$$

Необходимо отметить, что расчеты давлений для приведенных выше участков поверхности детали проводились при скорости вращения детали на нежесткой эксцентричной оправке (рис. 1).

При значениях угловой скорости $\omega = 7-10 \text{ рад/с}$ процесс взаимодействия плоских участков с обрабатываемой средой не носит ударного характера, значение шероховатости на этих участках выравнивается до значений шероховатости на других участках, т. е. до $R_a = 0,05 \text{ мкм}$.

В этом случае абразивные зерна, моделируемые эллипсоидом вращения, ориентируются к обрабатываемой поверхности своей большей осью, и процесс обработки носит стабильный характер при минимальном количестве поворотов абразивных частиц.

При этом давление на плоских участках детали определяется следующим образом [4]:

$$\omega(R'_1 + \epsilon) = N_{\text{эфф}} / [30,2 \cdot S_k \cdot (20 \cdot P'_5)^{1,18-1,28 \lg HB}],$$

где ω – угловая скорость вращения детали, рад/с; S_k – площадь контакта обрабатываемой среды с плоскими участками, м^2 ; $N_{\text{эфф}}$ – эффективная мощность резания, кВт; HB – твердость обрабатываемого материала, МПа; P'_5 – давление уплотненной обрабатываемой среды, МПа; ϵ – эксцентриситет оси шпинделя, м.

После соответствующих преобразований при значениях параметров: скорости ($\omega = 10 \text{ рад/с}$, $R'_1 = 45 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $N_{\text{эфф}} = 0,4 \text{ кВт}$; $HB = 6000 \text{ МПа}$; $S_k = 1200 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$; $\epsilon = 21 \cdot 10^{-3} \text{ м}$), определим давление обрабатываемой среды:



$$P'_5 = 0,2 \cdot \{ [30,2 \cdot \omega \cdot (R'_1 + \varepsilon) \cdot S_K] / \\ / N_{\text{эфф}} \}^{0,273} = 0,2 \cdot \{ [30,2 \cdot 10 \cdot 66 \cdot 10^{-3} \cdot \\ 1200 \cdot 10^{-6}] / 0,4 \}^{0,273} = 0,092 \text{ МПа.}$$

Таким образом, давление обрабатываемой среды при заданном оптимальном диапазоне угловых скоростей вращения детали равномерно распределяется по всему контуру кулачка, что свидетельствует о стабильном качестве обработки всей его поверхности.

Известно, что кроме физико-механических свойств и шероховатости поверхности качество обработанных деталей характеризуется точностью их изготовления по отношению к заданным размерам. Для полирования наружных поверхностей деталей типа колец, дисков, втулок, цилиндров со сложной формой поверхности наиболее эффективной является обработка в статически уплотненной абразивной среде с планетарным вращением деталей [5; 8].

В рассматриваемом способе обработки уплотненный абразивный слой достаточно податлив и поэтому точно копирует наружный профиль погруженной в него детали. При этом создаются условия для равномерного съема металла со всех участков профиля обрабатываемой поверхности. Для заданного материала детали с учетом ее термообработки выбирается скорость резания (полирования) $V_{\text{рез}}$, в зависимости от которой определяется угловая скорость вращения детали вокруг центральной оси ротора [3]:

$$\omega_2 = V_{\text{рез}} / (A + R),$$

где R – радиус детали; A – расстояние между осями вращения ротора и оправки.

Для качественной обработки деталей угловая скорость корректируется в сторону уменьшения, если ее расчетное значение превышает величину 10 рад/с.

Согласно проведенным ранее теоретическим исследованиям, величина круговой подачи вращения детали вокруг собственной оси определяется следующим образом:

$$S_1 = V_{\text{рез}} \cdot R / [2\pi(A + R)],$$

а угловая скорость выражается равенством:

$$\omega_1 = S_1 / R.$$

По определенным таким образом угловым скоростям вращения детали (ω_1) и ротора (ω_2) настраивают планетарный механизм устройства для камерного полирования.

Под действием давления сжатого воздуха через эластичную оболочку обрабатываемая среда трансформируется в уплотненную массу. За время обработки ($t = 3-4$ мин) партии деталей ($n = 10$ шт.) в установке параметр шероховатости снижается с $R_a = 2,5-1,25$ до $R_a = 0,1-0,05$ мкм. Поверхностные слои приобретают умеренное деформационное упрочнение и сжимающие остаточные напряжения, достигающие у поверхности детали 400–500 МПа.

Как отмечалось выше, качество детали также характеризуется точностью ее изготовления по отношению к заданным размерам. Экспериментальное исследование точности обработки наружного профиля в поперечном сечении деталей (роликов механизма газораспределения дизеля Д-50) производилось сравнением профилей необработанных и обработанных деталей. Перед абразивной обработкой детали устанавливали на оправку и на универсальном измерительном микроскопе УИМ-21 определяли в прямоугольных координатах положения точек профиля относительно необработанной базовой поверхности. Обработка роликов производилась по 2-м схемам: с планетарным вращением и с простым вращением деталей в случае, когда $A = 0$, при давлении $P = 0,075$ МПа.

Эффективная мощность резания при обработке деталей в соответствии с ранее проведенными исследованиями определяется следующим образом:

$$N_{\text{эфф}} = 30,2 \cdot S_k \cdot V_{\text{рез}} (20P)^{1,18-1,28 \lg HB}, \quad (17)$$

где S_k – площадь контактирования абразивной среды с обрабатываемой поверхностью; $V_{\text{рез}}$ – скорость резания; P – давление уплотненного абразивного слоя; HB – твердость поверхностного слоя обрабатываемой детали.

Данное выражение справедливо при следующих интервалах измерения параметров:

$$0,26 \leq V_{\text{рез}} \leq 1,96 \text{ м/с}; 0,05 \leq P \leq 0,20 \text{ МПа}; 100 \leq HB \leq 6\,000 \text{ МПа}.$$

При давлении $P = 0,075$ МПа экспериментально была определена эффективная мощность резания с помощью специального измерительного комплекса:

$$N_{\text{эфф}} = 900 \text{ Вт} = 0,900 \text{ кВт}.$$

Из зависимости (17) определим скорость резания $V_{\text{рез}}$:

$$V_{\text{рез}} = N_{\text{эфф}} / 30,2 \cdot S_k (20P)^{1,18-1,28 \lg HB}, \quad (18)$$

Подставляя в формулу (18) значения $N_{\text{эфф}} = 0,900$ кВт; $P = 0,075$ МПа; $HB = 600$ кг/мм² (6000 МПа) для стали 45 с твердостью 55–60 HRC, или 570–618 HB, $S_k = 28 \cdot 10^{-4}$ м², получим $V_{\text{рез}} = 0,53$ м/с, что согласуется с экспериментальными значениями скоростей резания, находящихся в диапазоне 0,5–0,75 м/с.

Найдем угловую скорость вращения детали вокруг центральной оси ротора:

$$\omega_2 = 0,53 / (0,021 + 0,023) = 5 \text{ рад/с}.$$

Величина круговой подачи определяется как:

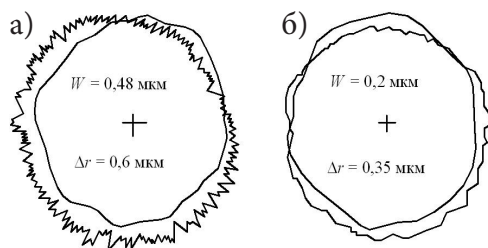
$$S_1 = 0,53 \cdot 0,023 / 6,28(0,021 + 0,023) = 0,044 \text{ м/с}.$$

Величина угловой скорости ω_1 – следующим образом:

$$\omega_1 = S_1 / P = 0,044 / 0,023 = 2 \text{ рад/с}.$$

Точность обработки деталей характеризуется не только равномерностью съема металла с различных участков профиля, но и характером данного съема в продольном сечении. Исследование изменения макрогеометрии поверхности деталей производилось на роликах механизма газораспределения дизеля после операции окончательного полирования.

Перед обработкой на приборе «ТАЛЕРОНД-51» были измерены волнистость и огранка поверхности. После обработки роликов при указанных выше режимах вновь производились измерения перечисленных параметров. Анализ записанных круглограмм показал, что в результате обработки высота волнистости и огранка снижаются приблизительно с $W = 0,34$ – $0,96$; мкм до $W = 0,17$ – $0,48$ мкм и с $\Delta r = 0,6$ мкм до $\Delta r = 0,35$ мкм (рис. 10).



Р и с. 10. Волнистость и огранка при обработке деталей уплотненной обрабатывающей средой: а – до обработки; б – после обработки

F i g. 10. Waviness and cutting at treatment of details a close-settled processing environment: a – to treatment; b – after treatment

Обсуждение и заключения

Проведенные исследования показали, что при обработке деталей с планетарным вращением стабильное протекание процесса полирования



обеспечивается при условии, что участок поверхности детали с отклонением от круглости имеет возможность контактировать с уплотненной абразивной средой минимум в течение времени, необходимого для полного поворота вокруг центральной оси ротора. За это время уплотненная абразивная среда успевает среагировать на изменение формы профиля детали, что обеспечивает стабильное

протекание процесса полирования. Сообщение детали планетарного вращения осуществляется при условии, что величину межцентрового расстояния A между осями вращения детали и ротора выбирают конструктивно, примерно в пределах размерного диапазона $R = 0,8-1,0$, что обеспечивает возможность взаимодействия всех участков детали с уплотненной абразивной средой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. А. с. 1579740 СССР, МКИ В24В 31/08. Способ абразивной обработки деталей / А. Н. Мартынов, В. А. Скрябин, В. М. Федосеев. Оpubл. 23.07.90, Бюл. № 27.
2. А. с. 1678581 СССР, МКИ В24В 31/116. Способ абразивной обработки изделий / А. Н. Мартынов, В. А. Скрябин, В. А. Лемин, В. М. Федосеев, Г. В. Бабаджан. Оpubл. 23.09.91, Бюл. № 35.
3. Патент 1803308 (РФ), МКИ: В24В 31/104. Способ обработки деталей / В. А. Скрябин. Оpubл. 23.03.93, Бюл. №11.
4. **Скрябин В. А.** Основы процесса субмикрорезания при обработке деталей незакрепленным абразивом : монография. Пенза : Изд-во ПВАИУ, 1992. 120 с.
7. **Скрябин В. А., Рыбаков Ю. В.** Новый метод финишной обработки деталей свободными мелкодисперсными средами. Машиностроитель. 2000. № 2. С. 16–17.
6. **Скрябин В. А., Схиртладзе А. Г., Рыбаков Ю. В.** Камерный способ обработки сложнопрофильных деталей уплотненным мелкодисперсным абразивом. Технология металлов. 2003. № 1. С. 19–24. URL: elibrary.ru/item.asp?id=20935710.
5. **Мартынов А. Н.** Основы метода обработки деталей свободным абразивом, уплотненным инерционными силами : монография. Саратов : Изд-во Саратов. гос. техн. ун-та, 1981. 212 с.
8. **Корнараки В. В., Доманский Р. А.** Зависимость коэффициента трения и угла естественного откоса некоторых шлифовальных материалов от влажности. Абразивы: экспресс-информация. М. : НИИАШ, 1981. № 9. С. 16–19.
9. **Мухелишвили Н. И.** Некоторые основные задачи математической теории упругости. М. : Изд-во АН СССР, 1954. 648 с.
10. **Голушкевич С. С.** Плоская задача теории предельного равновесия сыпучей среды. Л. ; М. : Гостехиздат, 1948. 148 с.
11. **Тимошенко С. П., Гудьер Д. Ж.** Теория упругости. М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит, 1985. 576 с.
12. **Скрябин В. А.** Исследование влияния технологических факторов и условий финишной абразивной обработки на шероховатость обрабатываемых поверхностей деталей с различным профилем. Машиностроитель. 2011. № 3. С. 18–22. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22965810>.
13. **Скрябин В. А., Свечникова Г. И.** Экспериментальные исследования производительности финишной абразивной обработки деталей с различным профилем. Машиностроитель. 2011. № 4. С. 18–22. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22985053>.
14. **Скрябин В. А., Схиртладзе А. Г.** Технологическое обеспечение качества обработки сложнопрофильных деталей уплотненными мелкодисперсными средами : монография. Старый Оскол : Тонкие наукоемкие технологии, 2015. 240 с. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=25306901>.

15. **Скрябин В. А.** Особенности обработки сложногопрофильных деталей уплотненными мелко-дисперсными абразивными средами. Вестник Мордовского университета. 2015. Т. 25, № 4. С. 72–89. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23338433>.

Поступила 11.01.2016; принята к публикации 30.05.2016; опубликована онлайн 30.09.2016

Об авторе:

Скрябин Владимир Александрович, профессор кафедры технологии машиностроения факультета машиностроения и транспорта ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет» (Россия, г. Пенза, ул. Красная, д. 40), доктор технических наук, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-7156-9198>, vs_51@list.ru

REFERENCES

1. Martynov AN, Skryabin VA, Fedoseyev VM. A. s. 1579740 SSSR, MKI B24B 31/08. Sposob abrazivnoy obrabotki detaley [Certificate of authorship USSR 1579740 the USSR, MKI B24B 31/08. Method of abrasive treatment of details]. Publ. 23.07.90, bull. № 27. (In Russ.)
2. Martynov VA. Skryabin BM, Lemin VA, Fedoseyev VM, Babadzhan GV. A. s. 1678581 СССР, МКИ B24B 31/116. Sposob abrazivnoy obrabotki izdeliy [Certificate of authorship USSR 1678581, MKI B24B 31/116. Method abrasive processing]. Publ. 23.09.91, bull. № 35. (In Russ.)
3. Skryabin VA. Patent 1803308 (RF), MKI: B24B 31/104. Sposob obrabotki detaley [Patent 1803308 Russian Federation, MKI: B24B 31/104. Method of treatment of details]. Publ. 23.03.93, bull. № 11. (In Russ.)
4. Skryabin VA. Osnovy protsessa submikrorezaniya pri obrabotke detaley nezakreplennym abrazivom [Bases of process of submicrometer at treatment of details an unsupported abrasive]. Penza: PVAIU Publ.; 1992. (In Russ.)
5. Skryabin VA. Novyy metod finishnoy obrabotki detaley svobodnymi melkodispersnymi sredami [New method of finish treatment of details of free the fine environments]. *Mashinostroitel* = Mechanician. 2000; 2:16-17. (In Russ.)
6. Skryabin VA, Shirladze AG, Rybakov YuV. Kamernyy sposob obrabotki slozhnoprofilnykh detaley uplotnennym melkodispersnym abrazivom [Chamber method of handling complex profile parts compacted particulate abrasive] *Tekhnologiya metallov* = Metal Technology. 2003; 1:19-24. (In Russ.)
7. Martinov AN Osnovy metoda obrabotki detaley svobodnym abrazivom, uplotnennym inertsiionnymi silami [Bases of method of treatment of details free abrasive close-settled inertia forces]. Saratov: Saratov Technical State University; 1981. (In Russ.)
8. Kornaraki VV, Domanskiy RA. Zavisimost koeffitsienta treniya i ugla yestestvennogo otkosa nekotorykh shlifovalnykh materialov ot vlazhnosti [Dependence of coefficient of friction and corner of natural slope of some polishing materials on humidity]. *Abrazivy: ekspress-informatsiya* = Abrasives: Express Information. 1981; 9:16-19. (In Russ.)
9. Mushelishvili NI. Nekotoryye osnovnyye zadachi matematicheskoy teorii uprugosti [Some basic tasks of mathematical theory of resiliency]. Moscow: AS USSR Publ., 1954. (In Russ.)
10. Golushkevich SS. Ploskaya zadacha teorii predelnogo ravnovesiya sypuchey sredy [Flat task of theory of maximum equilibrium of friable environment]. Leningrad-Moscow: Gostekhizdat; 1948. (In Russ.)
11. Timoshenko SP, Gudyer DG. Teoriya uprugosti [Theory of resiliency]. Moscow: Nauka Publ.; 1985. (In Russ.)
12. Skryabin VA. Issledovaniye vliyaniya tekhnologicheskikh faktorov i usloviy finishnoy abrazivnoy obrabotki na sherokhovatost obrabatyvaemykh poverkhnostey detaley s razlichnym profilom [Research of influence of technological factors and terms of finish abrasive treatment on the roughness of processed surfaces of details with the different profile]. *Mashinostroitel* = Mechanician. 2011; 3:18-22. (In Russ.)



13. Skryabin VA, Svechnikova GI. Eksperimentalnyye issledovaniya proizvoditelnosti finishnoy abrazivnoy obrabotki detaley s razlichnym profilem [Experimental researches of the productivity of finish abrasive treatment of details with the different profile]. *Mashinostroitel* = Mechanician. 2011; 4:18-22. (In Russ.)

14. Skryabin VA, Shirladze AG. Tekhnologicheskoye obespecheniye kachestva obrabotki slozhno-profilnykh detaley uplotnennymi melkodispersnymi sredami [The Technological providing of quality of treatment of figurine details close-settled fine environment]. Stariy Oskol: Thin knowledge-based technologies; 2015. (In Russ.)

15. Skryabin VA. Osobennosti obrabotki slozhnoprofilnykh detaley uplotnennymi melkodispersnymi abrazivnymi sredami [Features of processing complex-sealed parts with fine abrasive media]. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2015; 4(25):72-89. (In Russ.)

Submitted 11.01.2016; accepted 30.05.2016; published online 30.09.2016

About the author:

Vladimir A. Skryabin, professor of Mechanical Engineering chair, Penza State University (40, Krasnaya St., Penza, Russia), Dr.Sci. (Engineering), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7156-9198>**, vs_51@list.ru

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОСТРОЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ДЕТАЛИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ГРУППОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САПР «T-FLEX»

А. Ю. Овчинников, Н. Ю. Князева

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)

Введение. В современных условиях перед предприятиями, которые специализируются на выпуске типовых деталей различными партиями, возникают задачи сокращения времени на подготовку и переналадку производства при сохранении экономической эффективности работы. Данные задачи могут быть решены с помощью типизации технологических процессов и операций, представленной в форме группового технологического процесса обработки деталей. Проектирование такого процесса связано с построением комплексной детали, которая должна отвечать всем требованиям, предъявляемым к группе выпускаемых деталей. В статье рассматривается решение задачи построения такой детали при проектировании группового технологического процесса механической обработки.

Материалы и методы. На основе чертежей группы деталей типа «тела вращения» предлагается подход, заключающийся в реализации метода наложения для построения комплексной детали с использованием параметрических возможностей системы автоматизированного проектирования «T-Flex».

Результаты исследования. Была создана параметрическая модель комплексной детали, сформированной для группы деталей типа «тела вращения» с помощью системы автоматизированного проектирования «T-Flex CAD».

Обсуждение и заключения. Была разработана методика формирования параметрической модели, включающая анализ эскиза комплексной детали и составление таблицы соответствий группы деталей на предмет необходимого количества параметров, формирование базы данных параметров, построение наглядной геометрической модели. Данные факторы позволят использовать возможности параметризации в групповой технологии обработки деталей, что обеспечит простоту и легкость добавления деталей, выбранных групп и деталей соответствующего типа; реализовать возможность сокращения времени на проектирование технологического процесса, а следовательно, времени на подготовку производства.

Ключевые слова: механическая обработка, допуск, параметризация, САД-системы, групповая технология, комплексная деталь, унификация

Для цитирования: Овчинников А. Ю., Князева Н. Ю. Разработка методики построения комплексной детали при применении группового технологического процесса с использованием САПР «T-Flex». Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 3. С. 312–324. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201603.312-324

Благодарности: Авторы выражают свою признательность Кузьмичеву Н. Д., а также анонимному рецензенту, чьи комментарии и замечания помогли улучшить статью.



DEVELOPMENT OF A CONSTRUCTION TECHNIQUE FOR THE COMPLEX DETAILS IN THE APPLICATION OF GROUP PROCESS WITH THE USE OF CAD «T-FLEX»

A. Yu. Ovchinnikov, N. Yu. Knyazeva

National Research Mordovia State University (Saransk, Russia)

Introduction. In modern conditions of enterprises engaged in production of standard parts in various parties, meet the need to reduce time for preparation and changeover production while maintaining efficiency. These problems can be solved by typing processes and operations, presented in the form of a group of technological parts processing. Design of the processing associated with the process of construction of the complex parts that must meet all requirements imposed on the group of manufactured parts. The paper deals with the problem of constructing the complex details of the design group of the process of machining.

Materials and Methods. On the basis of the drawings of the “body rotation” type components proposed approach is to implement the overlay method used for the construction of complex parts using a parametric computer-aided design features “T-Flex”.

Results. As a result of analysis of drawings and using the overlay method was established parametric model complex parts, formed by a group of the “body rotation” parts using computer aided design “T-Flex CAD”.

Discussion and Conclusions. A method of forming a parametric model includes analysis of a sketch drawing of complex parts and components of the table corresponds to the group for the required number of parameters, the formation of the database parameters to build a visual geometric model. This allows the possibility to use a group technology parameterization processing components that provide simplicity and ease of adding details of the selected groups and details of type and realize the possibility of reducing the design time process, and hence the production time for preparation.

Keywords: machining, tolerance, parameterization, CAD-systems, group technology, comprehensive detail unification

For citation: Ovchinnikov AYu, Knyazeva NYu. Development of a construction technique for the complex details in the application of group process with the use of CAD “T-flex”. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2016; 3(26):312-324. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201603.312-324

Acknowledgements: The authors would like to express their gratitude to N. D. Kuzmichev, as well to the anonymous reviewer for his comments and observations.

Введение

В современных условиях эффективность развития производства зависит не только от умения коллективов предприятий мобилизовать свои внутренние резервы, но и от внедрения последних достижений науки и техники, прогрессивных форм организации и управления, передовых методов труда.

Одной из характеристик организации технологического процесса является *технологическая унификация* –

типизация технологических операций и процессов, технологической документации, унификация и стандартизация технологической оснастки. Типизация предполагает установление для технологических операций и процессов общих технических характеристик и разработку на их основе типовых технологических процессов и операций [1]. Высшей формой типизации является метод групповой обработки.

На большинстве машиностроительных предприятий изготавливается мно-

жество однотипных деталей, периодически повторяющихся в производстве небольшими партиями. Считаем рациональным группировать такие детали по принципу обработки, используемого оборудования, приспособлений, т. е. применяя метод групповой обработки деталей [1–6].

Обзор литературы

Метод групповой обработки деталей – это унификация технологии производства, при которой к группе деталей, однородной по тем или иным конструкторско-технологическим признакам продукции, применяются однотипные высокопроизводительные методы обработки с использованием однородных и быстроперенастраиваемых орудий производства. При этом обеспечивается экономическая эффективность производства, необходимая быстрота его подготовки и переналадки [1]. К преимуществам группового технологического процесса можно отнести также снижение затрат на разработку индивидуальных технологических процессов, что позволяет сокращать сроки технологической подготовки производства [1–5].

Объединение деталей в классы по общности их обработки или видам используемого оборудования позволяет составить такой технологический процесс, при котором изготовление детали осуществляется более рационально и экономично. Решение данной задачи было представлено С. П. Митрофановым [1]. Внедрение данной технологии создает предпосылки для механизации и автоматизации производства [2].

Целью исследования является разработка методики построения комплексной детали при применении группового технологического процесса с использованием САПР «T-Flex».

Материалы и методы

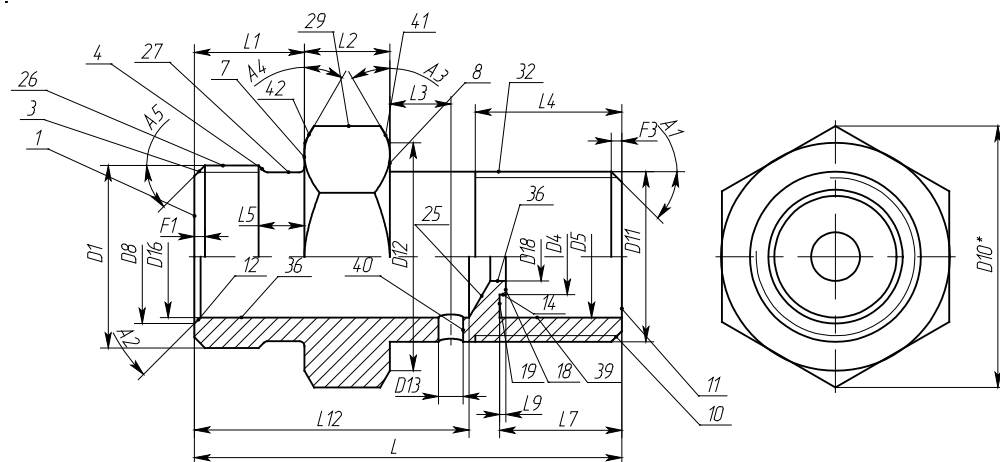
При построении группового технологического процесса за основу необходимо принять *комплексную деталь*, т. е. реальную или условную (искусственно созданную) деталь, содержащую в своей конструкции все основные элементы, характерные для деталей данной группы, и являющуюся ее конструкторско-технологическим представителем [1].

Под основными элементами поверхности понимаются поверхности, определяющие конфигурацию детали и технологические задачи, решаемые в процессе обработки. Данные элементы служат главным признаком для классификации деталей.

Разработка условной комплексной детали производится методом наложения: в результате анализа чертежей из ряда подобных деталей выбирается одна, наиболее характерная, затем рассматриваются детали, отличающиеся от нее наличием других обрабатываемых поверхностей [1; 3]. Эти новые поверхности наносятся на чертеж исходной детали. Для упрощения разработки комплексной детали и, соответственно, группового технологического процесса между элементарными поверхностями и размерами деталей группы устанавливаются соответствия, которые сводятся в специальные *таблицы соответствия* [3].

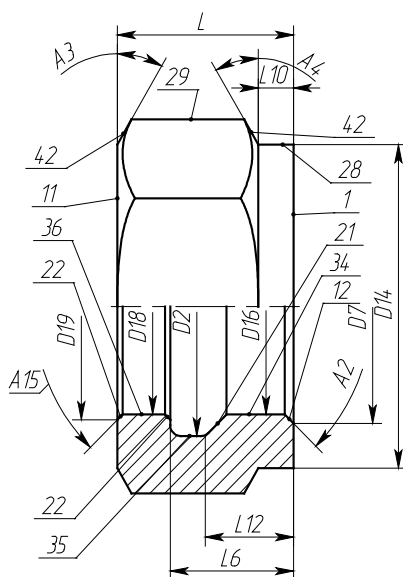
При заполнении такой таблицы для поверхностей деталей группы необходимо указать их шероховатость, а для размеров – их номинальное значение и поля допусков (при этом поля допусков фасок и угловых размеров не учитываются).

В качестве примера рассмотрим создание комплексной детали для группы деталей (рис. 1–6).



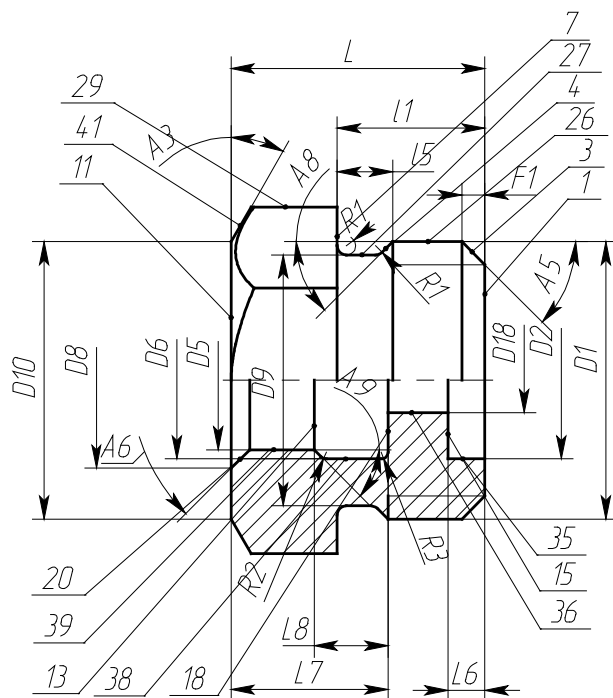
Р и с. 1. Эскиз детали «корпус»

F i g. 1. Sketch of the part "case"

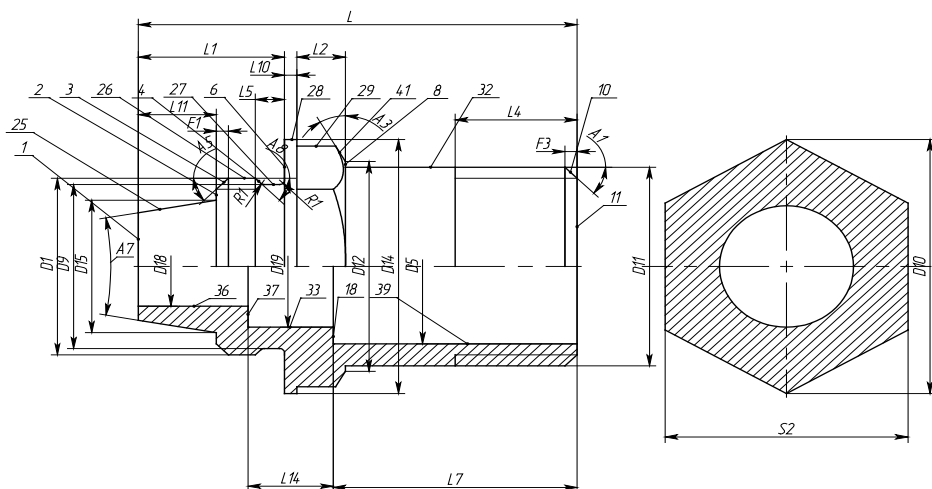


Р и с. 2. Эскиз детали «гайка»

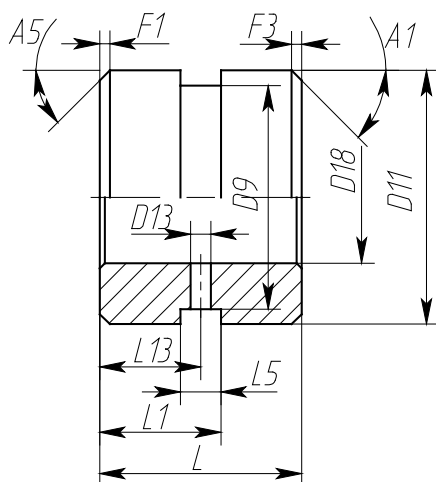
F i g. 2. Sketch of the part "nut"



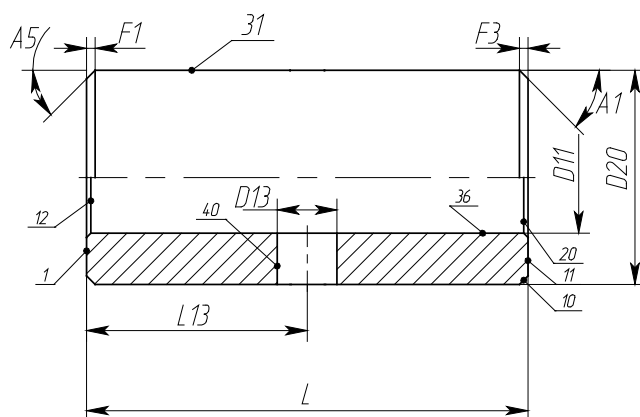
Р и с. 3. Эскиз детали «пробка»
F i g. 3. Sketch of the part “threaded plug”



Р и с. 4. Эскиз детали «цилиндр»
F i g. 4. Sketch of the part “cylinder”



Р и с. 5. Эскиз детали «втулка плавающая» турбокомпрессора CZ K27
 F i g. 5. Sketch of the part “floating bush” of turbocompressor CZ K27

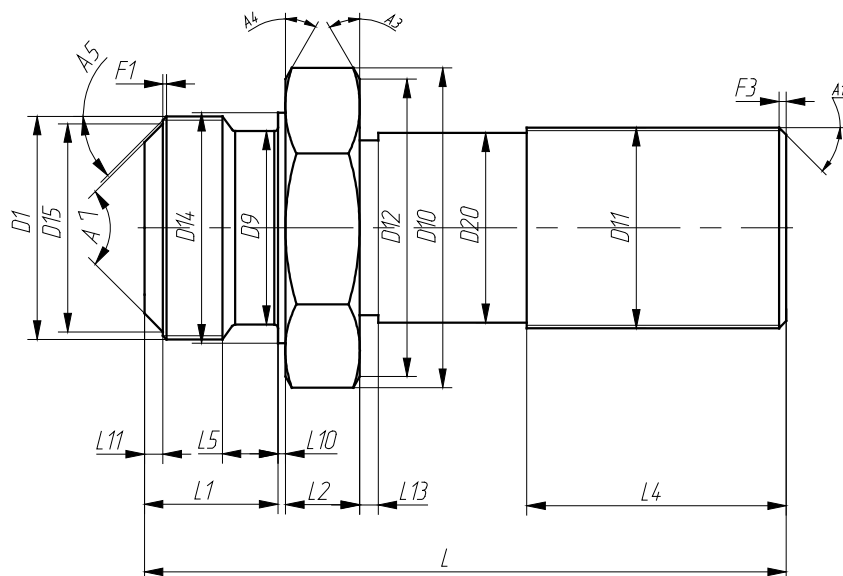


Р и с. 6. Эскиз детали «подшипник» турбокомпрессора CZ K27
 F i g. 6. Sketch of the part “bearing” of turbocompressor CZ K27

Выделим общие признаки для деталей данной группы: все они принадлежат группе типа «тела вращения»; при обработке поверхностей применяется в основном токарная обработка; в ходе технологического процесса используют-

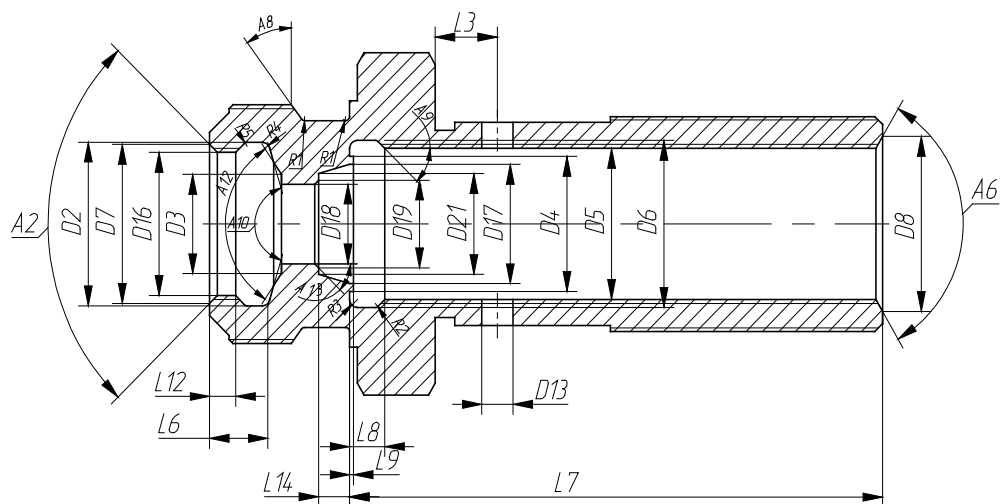
ся однотипные оснастка и способы настройки технологической системы.

После анализа данной группы деталей была создана комплексная деталь, включающая в себя все необходимые элементы (рис. 7–9).



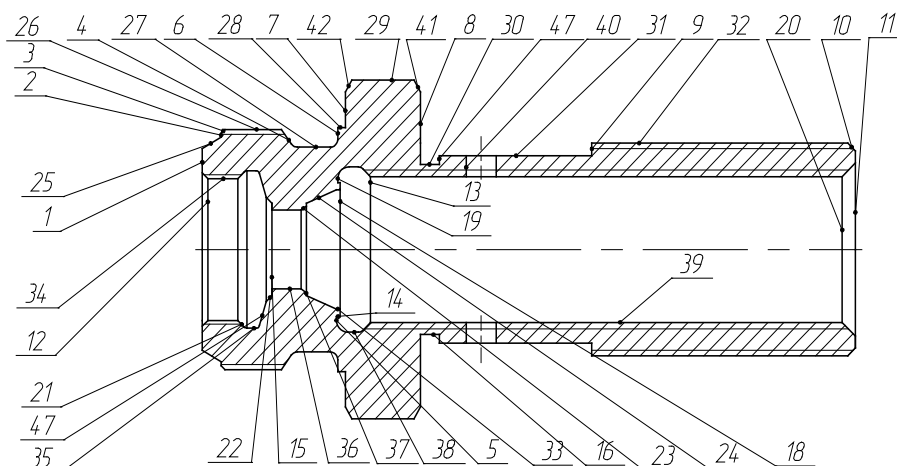
Р и с. 7. Эскиз комплексной детали

F i g. 7. Sketch of the complex part



Р и с. 8. Эскиз комплексной детали в разрезе

F i g. 8. Sketch of the complex part in section



Р и с. 9. Эскиз параметрической модели

F i g. 9. Sketch of the parametric model

Для проектирования группового технологического процесса использовались возможности компьютерного моделирования, в данном случае – система параметрического автоматизированного проектирования и черчения «T-Flex CAD» [6].

Данная система обеспечивает возможность изменения изображения при сохранении соотношений между элементами, предусмотренных разработчиком. Уникальный механизм параметризации и полный набор профессиональных инструментов компьютерного проектирования позволяют существенно упростить процесс конструирования и оформления графической документации.

Под параметризацией подразумевается, прежде всего, многократное использование чертежа с возможностью изменения его параметров. Почти все разработчики CAD-систем заявляют о средствах параметризации, предлагают построение геометрической модели детали с помощью переменных, позволяющих задать любой параметр линии построения, в том числе расстояние, на котором находится параллельная прямая, или отношение, в котором данная линия построения делит отрезок, заданный двумя узлами.

Для построения параметрической модели была выбрана следующая последовательность.

1. Анализ эскиза комплексной детали и таблицы соответствий группы деталей на предмет необходимого количества параметров (переменных). Для удобства пользования все переменные были разделены на группы:

D_x – диаметральные размеры; L_x – линейные размеры; R_x – радиальные размеры; A_x – угловые размеры; F_x – размеры фаски; M_x – размеры резьбы (где x – любое действительное число).

2. Формирование таблицы параметров (рис. 10) на основании таблицы соответствий (рис. 11) в редакторе переменных системы «T-Flex».

Редактор переменных

Файл Правка Перечисления Список Вставить Вид ?

	Имя	Выражение	Значение	Комментарий
1	M4	20	20	
2	M3	19	19	
3	M2	25.00	25	
4	M1	26.16	26.16	
5	F3	2.0	2	
6	F2	1	1	
7	F1	1.0	1	
8	A14	0	0	
9	A13	45	45	
10	A12	57	57	
11	A11	45	45	
12	A10	-343.5	-343.5	
13	A9	45	45	
14	A8	36	36	
15	A7	45	45	
16	A6	30	30	
17	A5	45	45	
18	A4	30	30	
19	A3	30	30	
20	A2	45	45	
21	A1	45	45	
22	R5	1	1	
23	R4	2	2	
24	R3	2.000	2	
25	R2	1.000	1	
26	R1	1.00	1	
27	D21	12.7	12.7	
28	D20	25.51	25.51	
29	D19	11	11	
30	D18	10	10	
31	D17	15.00	15	
32	D16	18.00	18	
33	D15	28	28	
34	D14	31.00	31	
35	D13	4	4	
36	D12	40.00	40	
37	D11	27.00	27	
38	D10	43.000	43	
39	D9	26.00	26	
40	D8	20	20	
41	D7	22	22	
42	D6	21.00	21	
43	D5	19.00	19	
44	D4	17.00	17	
45	D3	12.5	12.5	
46	D2	20.56	20.56	
47	D1	30.00	30	
48	S1	23.51	23.51	
49	L14	8	8	
50	L13	5	5	
51	L12	6.7	6.7	
52	L11	5	5	
53	L10	2	2	
54	L9	1	1	
55	L8	9	9	
56	L7	137	137	
57	L6	15	15	
58	L5	15	15	
59	L4	70	70	
60	L3	16.00	16	
61	L2	20	20	
62	L1	36	36	
63	L	173	173	

Сообщение: OK Отмена

Стр: 1 Поз: 1

Р и с. 10. Таблица переменных

F i g. 10. Table variables



Наименование/ Parameter	Наименование/Part numbers						Наименование/ Parameter	Наименование/Part numbers					
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
D ₁ мм/mm	M60x3	-	M60x4	M80x4	-	-	L	140h14	50h14	55h14	180h14	102h14	45h10
D ₂ мм/mm	40H14	72H14	M30-6H	-	-	-	L ₁	36 ±IT14/2	-	32 ±IT14/2	60h14	-	-
D ₃ мм	-	-	14H14	-	52H14	-	L ₂	28h14	-	-	20 ±IT14/2	-	-
D ₄ мм	25h14	-	-	-	-	-	L ₃	20 ±IT14/2	-	-	-	-	-
D ₅ мм	40H14	-	22H14	70H14	-	-	L ₄	48 ±IT14/2	-	-	-	48h14	36h14
D ₆ мм	-	-	30.5H14	-	80H14	-	L ₅	15 ±IT14/2	-	17 ±IT14/2	-	-	-
D ₇ мм	-	-	-	-	-	-	L ₆	90 ±IT14/2	35 ±IT14/2	8± IT14/2	-	-	30 ±IT14/2
D ₈ мм	44H14	70H14	-	-	36H14	-	L ₇	40 ±IT14/2	-	35 ±IT14/2	100 ±IT14/2	8 ±IT14/2	60 ±IT14/2
D ₉ мм	-	-	54.3h14	74.3h14	-	-	L ₈	-	-	12 ±IT14/2	-	-	-
D ₁₀ мм	86h14	104h14	75h14	109h14	-	-	L ₉	2 ±IT14/2	-	-	-	-	-
D ₁₁ мм	56H14	-	-	90h14	M95x4	-	L ₁₀	-	10 ±IT14/2	-	5h14	-	-
D ₁₂ мм	65H14	90h14	60h14	95h14	-	-	L ₁₁	-	-	-	32 ±IT14/2	-	-
D ₁₃ мм	-	-	-	-	-	-	L ₁₂	90 ±IT14/2	25 ±IT14/2	-	-	34 ±IT14/2	-
D ₁₄ мм	-	90h14	-	115h14	-	-	L ₁₃	-	-	-	-	35 ±IT14/2	22.5h14
D ₁₅ мм	-	-	-	60h14	-	-	L ₁₄	-	-	-	35 ±IT14/2	36 ±IT14/2	-
D ₁₆ мм	-	66H14	-	-	M30x2	-	A ₁ , град/deg	45	-	-	45	-	45
D ₁₇ мм	-	-	-	55h14	52H14	-	A ₂ , град/deg	45	45	45	45	45	-
D ₁₈ мм	16H14	60H14	-	36H14	30H14	-	A ₃ , град/deg	30	30	30	30	45	-
D ₁₉ мм	-	-	-	-	45H14	-	A ₄ , град/deg	30	-	-	45	-	-
D ₂₀ мм	-	-	-	-	80h14	35h14	A ₅ , град/deg	45	-	45	-	-	45
R ₁ мм	-	-	1.6	2	-	-	A ₆ , град/deg	-	-	45	-	-	-
R ₂ мм	1.6	-	-	-	-	-	A ₇ , град/deg	-	-	-	20	-	-
R ₃ мм	1.6	-	-	-	-	-	A ₈ , град/deg	45	-	45	45	-	-
R ₄ мм	-	3	-	-	-	-	A ₉ , град/deg	-	-	45	-	-	-
R ₅ мм	-	5	-	-	-	-	A ₁₀ , град/deg	-	-	-	-	-	-
S ₁	-	-	-	-	32h14	-	A ₁₁ , град/deg	-	-	-	-	-	-
S ₂	-	-	-	95h14	-	-	A ₁₂ , град/deg	-	-	-	-	-	-
F ₁	15	-	-	-	15	2	A ₁₃ , град/deg	-	-	-	-	-	60
F ₂	15	-	-	-	15	2	A ₁₄ , град/deg	-	-	-	-	-	-

Р и с. 11. Таблица соответствий деталей группы

F i g. 11. Correspondence table details of the group

3. Построение наглядной геометрической модели с помощью таблицы параметров, сформированной выше.

Данная операция происходит в 6 этапов:

1) создание базовых линий, в качестве которых определены оси симметрии и левый торец детали (пов. 1);

2) создание диаметральных размеров, которое осуществляется от оси симметрии детали;

3) создание линейных размеров (взаиморасположение линий построения определяется расположением соответствующих размерных линий на чертежах конкретных деталей);

4) создание остальных размеров (фаски, радиусы закруглений, угловые размеры);

5) создание контура комплексной детали;

6) ввод в таблицу переменных информации о конкретной детали из таблицы соответствий и сохранение информации в файле с расширением «.rag».

Результаты исследования

В результате работы была создана параметрическая модель комплексной детали, сформированной для группы деталей типа «тела вращения» с помощью системы автоматизированного проектирования «T-Flex CAD». Данная модель позволяет путем изменения параметров получать различные геометрические конфигурации деталей группы, а также других деталей, которые можно отнести к рассматриваемому типу. К преимуществам данной

параметрической модели относятся возможность ее использования при составлении как группового технологического процесса, так и индивидуального процесса механической обработки детали, а также возможность проектирования процесса и формирования технологической документации с помощью системы «ТехноПро».

Обсуждение и заключения

Использование параметризации в групповой технологии позволяет осуществлять:

- проверку правильности построения комплексной детали;

- отсутствие сложностей при добавлении деталей, соответствующих этой группе;

- автоматическое формирование эскизов маршрута технологического процесса для конкретной детали из маршрута обработки группового технологического процесса;

- сокращение общего времени на конструкторско-технологическую подготовку.

Данная методика может быть применима при проектировании, изготовлении и ремонте множества деталей, например, подшипниковых узлов турбокомпрессора [8]. В группу рассматриваемых в статье деталей были включены втулки подшипниковых узлов современных турбокомпрессоров (рис. 5–6) [9–10]. Использование высокопроизводительного оборудования и группового технологического процесса позволяет снизить их себестоимость и повысить качество.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Митрофанов С. П. Групповая технология машиностроительного производства : в 2-х т. 3-е изд., перераб. и доп. Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983. Т. 1. 407 с., ил.
2. Боярский В. Г., Сихимбаев М. Р., Шеров К. Т. Переналаживаемая технологическая оснастка для групповой обработки. Фундаментальные исследования. 2011. № 12-3. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/perenalazhivaemaya-tehnologicheskaya-osnastka-dlya-grupповой-obrabotki>.
3. Митрофанов С. П. Особенности групповой технологии механической обработки в современных условиях. Металлообработка. 2001. № 2. С. 4–8. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=9514803>.



4. Марков А. М., Маркова М. И., Плетнева Е. М. Алгоритм проектирования группового технологического процесса механической обработки деталей. Обработка металлов (технология, обработка, инструменты). 2012. № 4. С. 5–9. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18752920>.

5. Татаркин Е. Ю., Фирсов А. М., Калистру В. А. Особенности проектирования технологических процессов в условиях многономенклатурного производства. Актуальные проблемы в машиностроении. 2015. № 2. С. 87–91. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23723973>.

6. Яблочников Е. И., Молочник В. И., Гусельников В. С. Метод разработки групповых технологических процессов для оборудования с числовым программным управлением. Известия вузов. Приборостроение. 2010. Т. 53, № 6. С. 63–67. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=15116475>.

7. Бунаков П. Ю. Сквозное проектирование в T-Flex. М. : ДМК-Пресс, 2011. 325 с., ил.

8. Сенин П. В. Комплексный подход к ремонту турбокомпрессоров. Сельский механизатор. 2013. № 12. С. 34–35. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21283552>.

9. Овчинников А. Ю., Власкин В. В., Кузнецова М. В. Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : межвуз. сб. науч. тр. Саранск, 2013. С. 311–315. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22737416>.

10. Овчинников А. Ю. Разработка стратегии выбора ремонтно-восстановительных воздействий для обеспечения работоспособности турбокомпрессоров двигателей внутреннего сгорания : дис. ...канд. техн. наук. Саранск, 2015. 202 с. URL: <http://dlib.rsl.ru/rsl0100500000/rsl01005562000/rsl01005562897/rsl01005562897.pdf>.

Поступила 12.04.2016; принята к публикации 30.05.2016; опубликована онлайн 30.09.2016

Об авторах:

Овчинников Александр Юрьевич, ассистент кафедры технологии машиностроения Рузаевского института машиностроения ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Рузаевка, ул. Ленина, 93), кандидат технических наук, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6796-1824>, alexrurzrm@rambler.ru

Князева Наталья Юрьевна, доцент кафедры технологии машиностроения Рузаевского института машиностроения ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Рузаевка, ул. Ленина, 93), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-0028-8193>, natalja-knjazeva@lenta.ru

REFERENCES

1. Mitrofanov SP. Gruppovaya tekhnologiya mashinostroitel'nogo proizvodstva. T. 1. Organizatsiya gruppovogo proizvodstva [Group technology machine-building production. Vol. 1 Organization of group production]. Leningrad: Mashinostroyeniye; 1983. (In Russ.)

2. Boyarsky VG, Sikhimbayev RM, Sherov KT. Perenalazhivayemaya tekhnologicheskaya osnastka dlya gruppovoy obrabotki [Reconfigurable tooling for batch processing]. *Fundamentalnyye issledovaniya* = Fundamental Research. 2011; 3(12):542-547. Available from: <http://cyberleninka.ru/article/n/perenalazhivaemaya-tehnologicheskaya-osnastka-dlya-gruppovoy-obrabotki>. (In Russ.)

3. Mitrofanov SP. Osobennosti gruppovoy tekhnologii mekhanicheskoy obrabotki v sovremennykh usloviyakh [Features group machining technology in modern conditions]. *Metallobrabotka* = Metalworking. 2001; 2:4-8. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=9514803>. (In Russ.)

4. Markov AM, Markov MI, Pletneva YeM. Algoritm proektirovaniya gruppovogo tekhnologicheskogo protsessa mekhanicheskoy obrabotki detaley [Algorithm design group process machining]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, obrabotka, instrumenty)* = Processing of Metals (technology, process, tools). 2012; 4:5-9. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18752920>. (In Russ.)

5. Tatarkin YeYu, Firsov AM, Calistru VA. Osobennosti proyektirovaniya tekhnologicheskikh protsessov v usloviyakh mnogonomenklaturnogo proizvodstva [Features of the design process in the conditions of multiproduct manufacturing]. *Aktualnyye problemy v mashinostroyenii* = Actual problems in mechanical engineering. 2015; 2:87-91 Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23723973>. (In Russ.)

6. Yablochnikov YeI, Milkman VI, Guselnikov VS. Metod razrabotki gruppovykh tekhnologicheskikh protsessov dlya oborudovaniya s chisloym programmnyy upravleniyem [Development group technological process method for equipment with numerical control]. *Izvestiya vuzov. Priborostroeniye* = Bulletin of the universities. Instrumentation. 2010; 6(53):63-67. Available from <http://elibrary.ru/item.asp?id=15116475>. (In Russ.)
7. Bunakov PY. Skvoznoye proyektirovaniye v T-Flex [Cross-cutting design in T-Flex]. Moscow: DMK Press, 2011. (In Russ.)
8. Senin AV. Kompleksnyy podkhod k remontu turbokompressorov [An integrated approach to the repair of turbochargers agricultural equipment]. *Selskiy mekhanizator* = Rural mechanic. 2013; 12:34-35. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21283552>. (In Russ.)
9. Ovchinnikov AYU, Vlaskin VV, Kuznetsov MV. Energoeffektivnyye i resursosberegayushchiye tekhnologii i sistemy [Energy-efficient and resource-saving technologies and systems]. In: The interuniversity collection of scientific works. Saransk; 2013:311-315. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22737416>. (In Russ.)
10. Ovchinnikov AYU, Razrabotka strategii vybora remonto-vosstanovitelnykh vozdeystviy dlya obespecheniya rabotosposobnosti turbokompressorov dvigateley vnutrennego sgoraniya [Development of a strategy for selection of repair and restoration of impacts to ensure efficiency turbochargers of internal combustion engines]. Abstract of Ph.D. thesis (Engineering). Saransk; 2015. Available from: <http://dlib.rsl.ru/rsl01005000000/rsl01005562000/rsl01005562897/rsl01005562897.pdf>. (In Russ.)

Submitted 12.04.2016; accepted 30.05.2016; published online 30.09.2016

About the authors:

Aleksandr Yu. Ovchinnikov, assistant of Mechanical Engineering chair, Ruzayevka Institute of Machinery, National Research Mordovia State University (93, Lenina St., Ruzayevka, Russia), Ph.D. (Engineering), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6796-1824>, alexrurzrm@rambler.ru

Natalya Yu. Knyazeva, docent of Mechanical Engineering chair, Ruzayevka Institute of Machinery, National Research Mordovia State University (93, Lenina St., Ruzayevka, Russia), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-0028-8193>, natalja-knyazeva@lenta.ru



ИЗМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ АВТОМОБИЛЯ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОЙ РАБОТЫ НА СЖИЖЕННОМ НЕФТЯНОМ ГАЗЕ

Д. А. Галин, П. А. Ионов, А. С. Назаркин
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)

Введение. Статья посвящена анализу метода изменения программного обеспечения электронных блоков управления двигателя автомобиля, оснащенного газобаллонной установкой, работающей на сжиженном газе. Все компоненты данного устройства устанавливаются в сертифицированных мастерских на автомобили, штатно оснащенные бензиновыми двигателями. Сжиженный газ используется в автомобильных двигателях в течение многих десятилетий и является в настоящее время наиболее распространенным видом альтернативного топлива.

Материалы и методы. В Институте механики и энергетики ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» на кафедре технического сервиса машин были проведены работы по программированию электронного блока управления двигателем штатно установленного на автомобиль ГАЗ-33027 (ГАЗель) для перевода работы данного автомобиля на газомоторное топливо. Для редактирования программного обеспечения блока управления с целью оптимальной работы двигателя на сжиженном нефтяном газе в программе ЭБУ необходимо произвести изменение части данных калибровочных таблиц. Для этого был применен ряд специальных программ: «WinOLS» от компании «EVC electronic» (Германия) и «ChipTuningPRO» от компании «SMS-Soft» (Россия).

Результаты исследования. Было произведено изменение заводской программы версии M124_AEC_03.41.152_10-2013-R15 автомобиля ГАЗ-33027 (ГАЗель) после установки на нее газобаллонной установки 4-го поколения. В статье приводятся результаты изменения характеристик впрыскивания топлива, а именно угла опережения зажигания при пуске и оптимального угла опережения зажигания штатной и модифицированной программы.

Обсуждение и заключения. К основным преимуществам автомобиля, оснащенного газобаллонной установкой, относятся экономия на топливе (стоимость сжиженного газа на 40–55 % меньше стоимости бензина), компактность установки газового оборудования, невысокая стоимость установки, отсутствие потери мощности двигателя и ресурса.

Ключевые слова: моторное топливо, пропан-бутан, газобаллонное оборудование, программирование, электронный блок управления, калибровочные таблицы, угол опережения зажигания, детонационная стойкость, октановое число, токсичность

Для цитирования: Галин Д. А., Ионов П. А., Назаркин А. С. Изменение программного обеспечения электронного блока управления бензинового двигателя автомобиля для оптимальной работы на сжиженном нефтяном газе. Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 3. С. 325–335. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201603.325-335

CHANGING THE SOFTWARE OF THE ELECTRONIC GASOLINE CAR ENGINE CONTROL UNIT FOR OPTIMUM PERFORMANCE ON LPG

D. A. Galin, P. A. Ionov, A. S. Nazarkin

National Research Mordovia State University (Saransk, Russia)

Introduction. The article analyzes the method of changing software electronic engine control units of a vehicle equipped with an LPG installation running on LPG. All LPG components are installed in certified workshops for cars, regular gasoline engines. Liquefied gas is used in automotive engines for many decades and is currently the most common type of alternative fuel.

Materials and Methods. At the Institute of mechanics and Energy of the National Research Mordovia State University Department of technical service of cars was carried out on the programming of the electronic engine control unit staff installed on the car GAS-33027 for transfer of the vehicle engine to natural gas. It is necessary to make the change part of the data calibration tables for editing the software of the engine control unit, for optimum performance of the engine on LPG in the program of the ECU. WinOLS of EVC Electronic (Germany) and ChipTuningPRO of the SMS-Soft (Russia) were used in the research.

Results. We have changed the factory software version M124_AEC 03.41.152 10-2013-R15 car GAS-33027 (GAZelle) after installing it on gas setting 4-th generation. Presents the results of changes in characteristics of fuel injection, namely the ignition timing at start-up and the optimal ignition timing of the regular and modified programs.

Discussion and Conclusions. The main advantages of the car equipped with LPG installation are fuel savings (cost of liquefied gas at 40–55 % cheaper than gasoline), the compactness of the installation of gas equipment, low equipment cost, no loss of engine power and resource.

Keywords: motor fuels, propane-butane, gas equipment, programming, electronic control unit, calibration table, ignition timing, knock resistance, octane number, toxicity

For citation: Galin DA, Ionov PA, Nazarkin AS. Changing the software of the electronic gasoline car engine control unit for optimum performance on LPG. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2016; 3(26):325-335. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201603.325-335

Введение

В 2013 г. Правительство РФ приняло Постановление о переводе на газовое топливо не менее половины общественного транспорта в стране. Информация об этом стала известна в ходе совещания о перспективах использования в России газомоторного топлива под председательством В. В. Путина, состоявшегося 14 мая 2013 г.

Все больше транспортных компаний при обновлении своего подвижного состава отдают предпочтение технике, работающей на газовом топливе. Такой выбор позволяет сократить расходы на моторное топливо и существенно снизить уровень негативного влияния на окружающую сре-

ду. Газовые автомобили практически не выделяют в атмосферу угарный газ (CO) и характеризуются низким уровнем выбросов несгоревших углеводородов (CH) [1].

Под сжиженным газом понимается сжиженный попутный нефтяной газ, называемый также пропан-бутан, или LPG (Liquified Petroleum Gas). Сжиженный газ используется в автомобильных двигателях уже в течение многих десятилетий и является в настоящее время наиболее распространенным видом альтернативного топлива. Он представляет собой смесь пропана, бутана и различных добавок, характеризуется очень чистым сгоранием и благодаря этому является од-

ним из самых перспективных энергоносителей. Во многих крупных городах вследствие роста стоимости бензина и экологического сознания количество автомобилей, работающих на сжиженном газе, постоянно увеличивается.

Сжиженный газ, используемый в качестве моторного топлива, по сравнению с бензином имеет октановое число в диапазоне от 105 до 115 в зависимости от соотношения в смеси пропана и бутана, повышенную детонационную стойкость и, соответственно, большее время горения, что приводит к возрастанию давления и температуры газов в камере сгорания. Это, в свою очередь, негативно сказывается на работе выпускной системы. Особенностью газа также является отсутствие смазывающих свойств бензина. Все это вызывает повышенные нагрузки на двигатель и требует внесения изменений в его механическую и электронную часть. Требования к качеству сжиженного газа единообразно устанавливаются на всей территории Европы нормой DIN EN 589, что обеспечивает применение автомобилей, работающих на сжиженном газе, в самых разных странах.

В настоящее время в России существует > 3 000 заправочных станций, продающих пропан-бутан. Количество автомобилей, работающих на газомоторном топливе, составляет ~ 1,1 млн ед. (около 2 % от общего автомобильного парка РФ). Из отечественных автомобилей, использующих в качестве топлива сжиженный нефтяной газ, можно выделить ПАЗ, ГАЗ, УАЗ, ВАЗ [1–3].

На некоторых предприятиях на конвейер начало поступать оборудование для установки ГБО в штатном исполнении. Например, на заводе ГАЗ (Россия) совместно с фирмой OMVL (Канада) адаптировали конструкцию автомобиля ГАЗель под штатное размещение ГБО. В связи с этим российской фирмой «ИТЭЛМА» был разработан единый электронный блок управления

двигателем (ЭБУ) для бензина и газа. Ранее на автомобили устанавливались 2 блока, что вызывало трудности как в алгоритме работы мотора, так и в диагностике. Доработка затронула также конструкцию автомобиля: переключатель топлива был перенесен в штатное место; датчики уровня газа и бензина – объединены в один штатный указатель в щитке приборов.

Для оптимизации работы бензинового двигателя, оборудованного установкой со сжиженным нефтяным газом, нами предлагаются варианты перевода автомобилей, штатно оснащенных бензиновыми двигателями, на данный вид топлива благодаря специальной настройке программного обеспечения (ПО) штатного бензинового ЭБУ, а именно изменению параметров и характеристик работы исполнительных механизмов двигателя, топливной системы, системы зажигания, лямбда регулирования.

Современные ЭБУ можно условно разделить на системы с замкнутым контуром лямбда-управления и с незамкнутым (безлямбдовое управление), с нормами токсичности Евро-0. ЭБУ «Bosch M7.9.7» (Германия) одним из первых начал выпускаться под нормы токсичности Евро-2 и Евро-3. В России данный ЭБУ устанавливается на автомобили с сентября 2003 г.

ПО ЭБУ построено на основе разработанной «Bosch» «моментной» модели двигателя («Torque-Based») и содержит > 1 000 калибровочных таблиц. В нем реализован алгоритм «anti-jerk» (дословно – «противотолчковая» функция), призванный обеспечить плавность при начале движения и переключении передач на топливе с различным октановым числом. В августе 2007 г. на новых легковых и коммерческих автомобилях и автобусах появились новые блоки управления «M73» (Россия) для норм Евро-3. В 2010 г. на автомобили начали серийно устанавливать электронную дроссельную заслонку,

электронную педаль и поддерживающие данные устройства контроллеры «Bosch M17.9.7» с нормами токсичности Евро-3 и Евро-4 [4–7].

Для редактирования ПО вышеперечисленных ЭБУ для оптимальной работы двигателя на сжиженном нефтяном газе необходимо произвести изменение части данных калибровочных таблиц. Для этой цели применяется ряд специальных программ: «WinOLS» производства «EVC electronic» (Германия) и «ChipTuningPRO» («SMS-Soft», Россия).

Данные программы имеют графический редактор параметров, который, в сочетании с системой автоматического подсчета контрольных сумм и цифровых подписей, позволяет быстро и качественно создавать ПО под любые типы впрыскивания топлива и нестандартные режимы работы двигателя при форсировании. Программы работают с оригинальными файлами прошивок и позволяют вносить изменения в работу системы управления впрыскиванием. Также они дают возможность изменять до сотни таблиц и калибровочных констант, параметров (таких как состав топливовоздушной смеси на разных режимах, фаза впрыскивания, угол опережения зажигания, топливоподача при пуске, зоны режимов работы двигателя, различные коэффициенты коррекции, комплектация лямбда-зондами, маска ошибок двигателя); варьировать алгоритм работы системы в режиме кондиционирования, исправлять просчеты в математической модели, снижать расход топлива и многое другое [7–9].

Материалы и методы

В Институте механики и энергетики ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва»

на кафедре технического сервиса машин используются приборы и оборудование, позволяющие эффективно проводить работы по диагностике двигателя и изменению ПО ЭБУ автомобиля для работы в том числе на сжиженном нефтяном газе. При программировании ЭБУ автомобилей также необходимо использовать диагностические сканеры ЭБУ для последующей настройки системы управления двигателем.

В данном случае проводилось перепрограммирование ЭБУ, штатно установленного на автомобиль ГАЗ-33027 (ГАЗель). Программирование было произведено со снятием ЭБУ. Также возможно произвести запись ПО на автомобиле, при подключении загрузчика непосредственно к диагностической колодке [10]. На рис. 1 представлен процесс перепрограммирования ЭБУ, снятого с автомобиля, в режиме «BootstrapLoader» (BSL). На рис. 2 представлен процесс программирования ЭБУ через разъем диагностики «EOBD II».

Для чтения и записи базовой программы ЭБУ автомобиля был использован загрузчик «CombiLoader» («SMS-Soft», Россия). Последняя версия ПО данного загрузчика позволяет производить чтение–запись как полной области микропрограммы ЭБУ, так и калибровочных данных. Структуру памяти ЭБУ можно разделить на 4 части: 1 – загрузочная область; 2 – область EEPROM; 3 – микропрограмма ЭБУ; 4 – калибровочные таблицы. В диагностическом режиме загрузчик позволяет работать или с областями (3–4), или с областью (4) (если выбрана работа только с калибровками).



Р и с. 1. Программирование ЭБУ в режиме «BootstrapLoader» (BSL)
F i g. 1. ECU Programming mode BootstrapLoader (BSL)



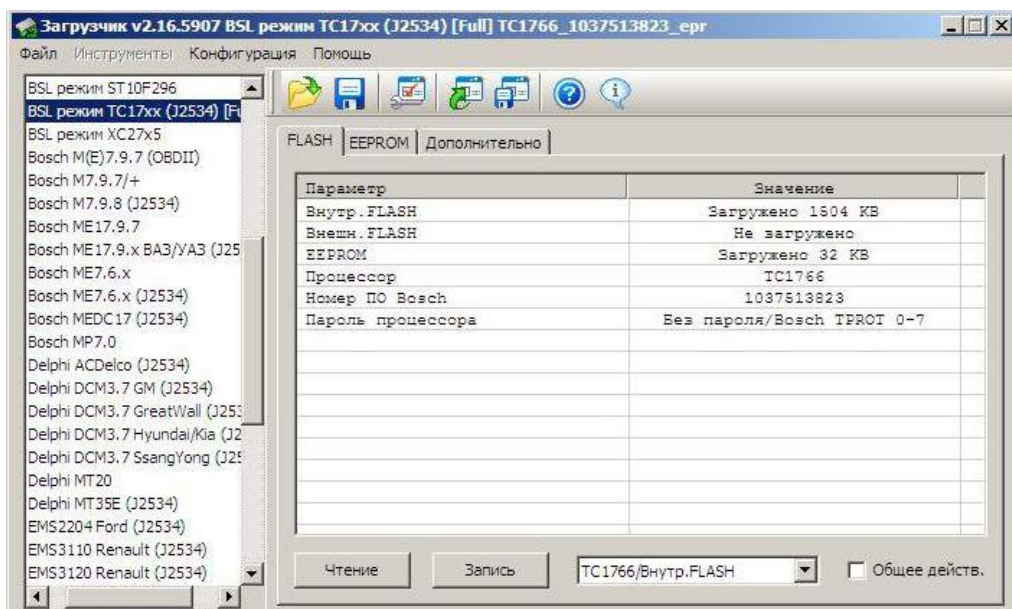
Р и с. 2. Программирование ЭБУ через разъем диагностики «EOBD II»
F i g. 2. Programming the ECU via diagnostic connector EOBD II

В окне программы имеются вкладки «Flash» и «Калибровки», которые содержат окно просмотра буфера программы контроллера и кнопки управления: чтение или запись прошивки из внутреннего буфера программы в контроллер (рис. 3). Как правило, для изменения алгоритма работы двигателя достаточно изменить только калибровочные таблицы, не затрагивая при этом основной софт («Flash»).

Прежде чем редактировать базовое ПО ЭБУ, необходимо считать его из ЭБУ и перенести в буфер программы редактора. Для редактирования модифици-

рованного ПО использовался редактор «ChipTuningPRO 7» версии 7.2016.3.1896 от 25.04.2016 г. Программа содержит следующие вкладки: «маска DTC (маска ошибок)»; «E-GAS (torque model)»; «пусковые режимы»; «режим холостого хода»; «рабочие режимы»; «лямбда регулирование»; «управление охлаждением двигателя»; «диагностика».

Редактирование проводили по заранее подготовленным методикам. После этого производился анализ ПО, сравнение отредактированного файла с базовым, подсчет контрольных сумм и цифровых подписей программ.



Р и с. 3. Окно программы загрузчика «CombiLoader» («SMS-Soft»)

F i g. 3. Program window loader CombiLoader (SMS-Soft)

Результаты исследования

Нами было произведено изменение заводской версии программы M124_AEC_03.41.152_10-2013-R15 автомобиля ГАЗ-33027 (ГАЗель) после установки на нее газобаллонной установки 4-го поколения. На рис. 4–5 показаны результаты изменения характеристик впрыскивания топлива, а именно угла опережения зажигания при пуске

и оптимального угла опережения зажигания штатной и модифицированной программы.

Например, известно, что максимального угла опережения зажигания бензина недостаточно для сгорания пропанобутановой смеси, вследствие чего смесь продолжает догорать на такте выпуска, а это, в свою очередь, приводит к прогаранию выпускных

клапанов двигателя. Высокооктановое топливо горит медленнее низкооктанового и для компенсации повышенного

времени его горения рекомендуется увеличивать угол опережения зажигания [8–9].



Р и с. 4. Угол опережения зажигания при пуске (а – УОЗ для базового ПО; б – УОЗ для модифицированного ПО)

Fig. 4. Ignition timing at start-up (a – ignition timing angle for the base; b – ignition timing advance for the modified Software)



Р и с. 5. Оптимальный угол опережения зажигания (а – УОЗ для базового ПО; б – УОЗ для модифицированного ПО)

Fig. 5. Optimal ignition timing (a – ignition timing angle for the base; b – ignition timing advance for the modified Software)

Угол опережения зажигания для различных частот вращения коленчатого вала двигателя ДВС определяется по формуле:

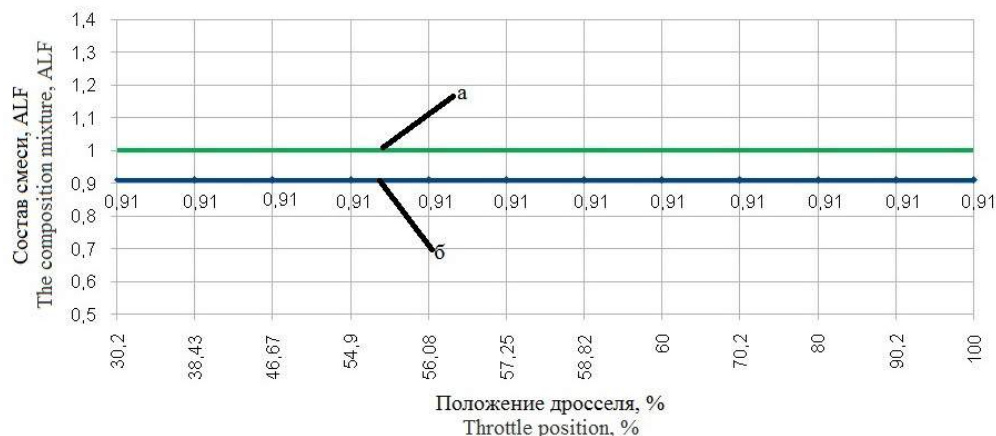
$$\text{УОЗ}_{\text{газ}} = \text{УОЗ}_{\text{бензин}} \cdot K_w$$

где K_w – коэффициент, учитывающий разницу скоростей горения газа и бензина.

Для сжиженного нефтяного газа $K_w = 0,996-1,068$, с учетом температуры, скорости горения и давления [10]. Оптимальный УОЗ с ростом частоты вращения коленчатого вала перестает увеличиваться и в конце концов становится равным константе. Такой эффект

объясняется зависимостью скорости горения топлива от скорости вращения коленвала. Если повысить УОЗ на высоких оборотах выше оптимального то кроме снижения максимальной мощности при продолжительной работе двигателя с высокой нагрузкой появляется опасность возникновения калильного зажигания, следствием которого обычно является выгорание центрального электрода свечи или даже прогарание днища поршня.

При модификации ПО был изменен также состав смеси, произведено ее переобогащение с целью снижения температурной нагрузки на клапан головки блока цилиндров (ГБЦ) (рис. 6).



Р и с. 6. Состав смеси в режимах высокой нагрузки (а – состав смеси для базового ПО; б – состав смеси для модифицированного ПО)

Fig. 6. The composition of the mixture in the high load (a – the composition of the mixture for the base; b – the composition of the mixture for the modified Software)

В изменяемом ПО, кроме варьирования углов опережения зажигания и состава смеси, было отключено лямбдорегулирование на холостом ходу (для ровной и мягкой работы двигателя). Поправка делалась с помощью опции сканера. Также были отключены датчик неровной дороги, нередко вызывающий ложные срабатывания, и функция выключения форсунок при пропусках воспламенения (при постоянных ложных срабатываниях из-за

колебаний двигателя происходит выключение форсунок, часто возникающих при исправно работающем двигателе). В маске ошибок были убраны ложные ошибки, не влияющие на поиск неисправностей.

После записи программы в ЭБУ необходимо сделать тестовые замеры параметров работы двигателя, считать коды неисправностей, провести регулировку системы с использование газоанализатора и, таким обра-



зом, довести работу двигателя с новым типом топлива до уровня работы автомобиля со штатно установленным ГБО.

После перепрограммирования ЭБУ необходимо сделать сброс настроек ЭБУ со сканера, сброс всех установок, адаптацию дросселя, установку холостого хода, произвести регулировку СО на холостом ходу и под нагрузкой, замерить расход топлива.

Обсуждение и заключения

Проведенные изменения штатного ПО бензинового ЭБУ позволили получить работоспособную программу, позволяющую вносить изменения в работу двигателя на сжиженном нефтяном газе.

Модификация ПО основного бензинового блока ЭБУ позволила изменить

ряд характеристик работы двигателя и состав смеси, произвести переобогащение смеси для снижения нагрузки на клапана, увеличить базовый угол опережения зажигания.

Дальнейшая настройка двигателя с помощью диагностического оборудования после изменения ПО позволила оптимизировать работу всех датчиков и исполнительных механизмов, произвести сброс адаптаций двигателя, калибровку дроссельной заслонки, форсунок.

В связи с основными преимуществами автомобиля, оснащенного ГБО (такими как экономия на топливе и высокая экологичность) отметим актуальность работы по переводу автомобилей на сжиженный газ совместно с изменением ПО ЭБУ бензинового двигателя для оптимальной работы на сжиженном нефтяном газе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Пашков В. И.** Автомобильная промышленность России в 2007 году. Автомобильная промышленность. 2008. № 3. С. 5–8. URL: <http://www.avtomash.ru/guravto/2002/200212.htm>.
2. Методы диагностики дизельной топливной аппаратуры / П. В. Сенин [и др.] // Сельский механизатор. 2015. № 10. С. 32–36. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=24392514>.
3. **Сенин П. В., Галин Д. А.** Диагностика форсунок топливной системы Common rail. Нива Поволжья. 2016. № 2. С. 15–19. URL: <http://niva-volga.ru/index.php?id=020101>.
4. Оценка работоспособности и повышение долговечности объемного гидропривода / Ф. Х. Бурумкулов [и др.] // Труды ГОСНИТИ. 2008. Т. 102. С. 187–190. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22563196>.
5. Пути повышения долговечности объемного гидропривода ГСТ-90 / Ф. Х. Бурумкулов [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 10. С. 39–42. URL: <http://www.tismash.ru/archives/8049>.
6. Исследование работоспособности и разработка технологических рекомендаций по ремонту объемного гидропривода ГСТ-90 / Д. А. Галин [и др.] // Труды ГОСНИТИ. 2011. Т. 107, № 1. С. 78–85. URL: <http://tekhnosfera.com/otsenka>.
7. **Бурумкулов Ф. Х., Лялякин В. П., Галин Д. А.** Повышение межремонтного ресурса агрегатов с использованием нанoeлектротехнологий. Техника в сельском хозяйстве. 2007. № 3. С. 8–13. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=9539836>.
8. **Дмитриевский А. В.** Впускные каналы и мощностные показатели двигателей с впрыскиванием бензина. Автомобильная промышленность. 1993. № 1. С. 17–19. URL: <http://tekhnosfera.com/sposob-diagnostirovaniya-elektromagnitnyh-forsunok-dvigatelay-s-vpryskivaniem-benzina>.
9. **Вереютин А. Ю.** Способ диагностирования электромагнитных форсунок двигателей с впрыскиванием бензина. Естественные и технические науки. 2010. № 1. С. 25–28. URL: <http://www.dslib.net/teplo-dvigateli/sposob-diagnostirovaniya-elektromagnitnyh-forsunok-dvigatelay-s-vpryskivaniem.html>.
10. **Галин Д. А., Ионов П. А., Козлов А. В.** Обзор и диагностика системы управления двигателем автомобиля ВАЗ (NIVA) Bosch M(E)17.9.7. Межвуз. сб. науч. тр. «Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы». Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2013. С. 50–55. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22736153>.

Об авторах:

Галин Дмитрий Александрович, доцент кафедры технического сервиса машин Института механики и энергетики ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевицкая, д. 68), кандидат технических наук, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-2858-2685>, tehosmotr.yalga@yandex.ru

Ионов Павел Александрович, доцент кафедры технического сервиса машин Института механики и энергетики ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевицкая, д. 68), кандидат технических наук, tehosmotr.yalga@yandex.ru

Назаркин Алексей Сергеевич, магистрант кафедры технического сервиса машин Института механики и энергетики ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевицкая, д. 68), tehosmotr.yalga@yandex.ru

REFERENCES

1. Pashkov VI. *Avtomobilnaya promyshlennost Rossii v 2007 godu* [Automotive industry in Russia in 2007]. *Avtomobilnaya promyshlennost* = Automotive industry 2008; 3:5-8. Available from: <http://www.avtomash.ru/guravto/2002/200212.htm>. (In Russ.)
2. Senin PV, Ionov YeA, Nuyanin D, Galin A. *Metody diagnostiki dizelnoy toplivnoy apparatury* [Methods of diagnostics of diesel fuel injection equipment]. *Selskiy mekhanizator* = Rural mechanic. 2015; 10:32-36. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=24392514>. (In Russ.)
3. Senin PV, Galin DA. Diagnostika forsunok toplivnoy sistemy Common rail [Diagnostics of injectors of the fuel system Common rail]. *Niva Povolzhya* = Volga Niva. 2016; 2:15-19. Available from: <http://niva-volga.ru/index.php?id=020101>. (In Russ.)
4. Burumkulov FH, et al. Otsenka rabotosposobnosti i povysheniye dolgovechnosti obemnogo gidroprivoda [Performance evaluation and improving the durability of volumetric hydraulic drive]. *Trudy GOSNITI* = Proceedings of GOSNITI. 2008; 1(102):187-190. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22563196>. (In Russ.)
5. Burumkulov FH, et al. Puti povysheniya dolgovechnosti obemnogo gidroprivoda GST-90 [Ways to improve the durability of volumetric hydraulic drive GST-90]. *Traktory i selkhoz mashiny* = Tractors and farm machinery. 2012; 10:39-42. Available from: <http://www.tismash.ru/archives/8049>. (In Russ.)
6. Galin DA, et al. Issledovaniye rabotosposobnosti i razrabotka tekhnologicheskikh rekomendatsiy po remontu obemnogo gidroprivoda GST-90 [Study of health and development of technological recommendations for repair of volumetric hydraulic drive GST-90]. *Trudy GOSNITI* = Proceedings of GOSNITI. 2011; 1(107):78-85. Available from: <http://tekhnosfera.com/otsenka>. (In Russ.)
7. Burumkulova FH, Lyalyakin VP, Galin DA. Povysheniye mezhremontnogo resursa agregatov s ispolzovaniyem nanoelektrotekhnologii [Increase of overhaul life of aggregates using nanoelectromechanical]. *Tekhnika v selskom khozyaystve* = Technique in agriculture. 2007; 3:8-13. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=9539836>. (In Russ.)
8. Dmitriyevsky AV. Vpusknyye kanaly i moshchnostnyye pokazateli dvigateley s vpryskivaniyem benzina [Inlet channels and the power characteristics of the engine with injection of gasoline]. *Avtomobilnaya promyshlennost* = Automotive industry. 1993; 1:17-19. URL: <http://tekhnosfera.com/sposob-diagnostirovaniya-elektromagnitnyh-forsunok-dvigatelay-s-vpryskivaniem-benzina>. (In Russ.)
9. Veretin AYU. Sposob diagnostirovaniya elektromagnitnykh forsunok dvigateley s vpryskivaniyem benzina [Method of diagnosing electromagnetic injectors of engines with gasoline injection]. *Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki* = Natural and Technical Sciences. 2010; 1:25-28. Available from: <http://www.dslib.net/teplo-dvigateli/sposob-diagnostirovaniya-elektromagnitnyh-forsunok-dvigatelay-s-vpryskivaniem.html>. (In Russ.)
10. Galin DA, Ionov PA, Kozlov AV. A Review and diagnostics of the engine management system of VAZ (NIVA) Bosch M(E)17.9.7. In: *Energoeffektivnyye i resursosberegayushchiye tekhnologii i sistemy* [Energy-efficient and resource-saving technologies and systems]. Saransk: Mordovia University Publ.; 2013:50-55. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22736153>. (In Russ.)

Submitted 02.05.2016; accepted 26.05.2016; published online 30.09.2016

*About the authors:*

Dmitriy A. Galin, docent of Machine Technical Service, Institute of Mechanics and Energy, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St, Saransk, Russia), Ph.D. (Engineering), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2858-2685>**, tehosmotr.yalga@yandex.ru

Pavel A. Ionov, docent of Machine Technical Service, Institute of Mechanics and Energy, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St, Saransk, Russia), Ph.D. (Engineering), tehosmotr.yalga@yandex.ru

Aleksey S. Nazarkin, senior student of Machine Technical Service, Institute of Mechanics and Energy, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St, Saransk, Russia), tehosmotr.yalga@yandex.ru

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ МЕДИЦИНА / FUNDAMENTAL MEDICINE

УДК 611.1:615.825.5

DOI: 10.15507/0236-2910.026.201603.336-348

ПАТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ДЕЗАДАПТАЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СЕРДЕЧНО- СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ, ОПОСРЕДОВАННЫХ ИНТЕНСИВНЫМИ ФИЗИЧЕСКИМИ НАГРУЗКАМИ

Л. А. Балыкова¹, С. А. Ивянский¹, Е. В. Громова¹,
К. А. Варлашина¹, Н. В. Щекина², П. А. Давыдов¹

¹ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)

²ГБУЗ РМ «Детская республиканская клиническая больница»
(г. Саранск, Россия)

Введение. В последние годы в России остается актуальной проблема оценки состояния сердечно-сосудистой системы у лиц, подверженных интенсивным физическим нагрузкам. Многогранность этой проблемы обусловлена неоднозначностью понимания механизмов формирования дезадаптационных механизмов патологической трансформации сердца атлетов, способных привести к внезапной смерти. **Материалы и методы.** Проведена экспериментально-клиническая оценка состояния миокарда. В экспериментальной части наблюдения выполнялись на модели интенсивного воздействия физической нагрузки на мышей. В клинической части работы лабораторно-инструментальными методами было обследовано 142 подростка, привлеченных к регулярным занятиям спортом.

Результаты исследования. Установлено, что интенсивная физическая нагрузка приводила к развитию ультраструктурных повреждений миокарда у экспериментальных животных, повышению уровня адреналина. Данные изменения коррелировали с выживаемостью животных в эксперименте. Клинические наблюдения указывали на стимулирование регулярными физическими нагрузками развития гипертрофии миокарда, вегетативных нарушений, а также биохимических сдвигов у лиц, подверженных регулярному воздействию спортивных нагрузок.

Обсуждение и заключение. Было показано, что кроме гипертрофии миокарда и развития гемодинамических нарушений, в развитии дезадаптационных нарушений сердечно-сосудистой системы играют роль другие патофизиологические механизмы.

Ключевые слова: сердце, физическая нагрузка, стресс, дезадаптация, сердечно-сосудистая система

Для цитирования: Патогенетические аспекты формирования дезадаптационных изменений сердечно-сосудистой системы, опосредованных интенсивными физическими нагрузками / Л. А. Балыкова [и др.] // Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 3. С. 336–348. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201603.336-348



PATHOGENESIS ASPECTS OF FORMATION OF THE DISADAPTATION CHANGES OF CARDIOVASCULAR SYSTEM, COURSED BY INTENSIVE PHYSICAL ACTIVITIES

L. A. Balykova^a, S. A. Ivyanskiy^a, Ye. V. Gromova^a,
K. A. Varlashina^a, N. V. Shchekina^b, P. A. Davydov^a

^aNational Research Mordovia State University (Saransk, Russia)

^bChildren's republican clinical hospital (Saransk, Russia)

Introduction. Over recent years one of the topical issues in Russia is the assessment of cardiovascular system of the people with intense physical activity. The complexity of this issue is caused by the challenges in understanding of how pathological changes in heart may lead to sudden cardiac death.

Materials and Methods. The research consists of experimental and clinical assessments. In the experimental part of assessment mice were exposed to rigorous exercise. In the clinical part 142 adolescents engaged in regular sports activities were examined using such methods as lab test and special exam.

Results. It has been established that rigorous exercise of laboratory animals leads to the development of ultrastructural myocardial injuries and adrenaline burst. Above-mentioned changes correlate to survival rate of the animals. Clinical observations revealed that regular exercises stimulated the development of myocardial hypertrophy, vegetative disturbances, and changes in biochemical values.

Discussion and Conclusions. It was shown that besides myocardial hypertrophy and hemodynamic disorders there are also other pathophysiological mechanisms that cause the development of maladaptation abnormalities in cardiovascular system.

Keywords: heart, physical activity, stress, disadaptation, cardiovascular system

For citation: Balykova LA, Ivyanskiy SA, Gromova YeV, Varlashina KA, Shchekina NV, Davydov PA. Pathogenesis aspects of formation of the disadaptation changes of cardiovascular system, coursed by intensive physical activities. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2016; 3(26):336-348. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201603.336-348

Введение

Ведущее значение в прогнозе успешности атлетов, безусловно, занимает состояние сердечно-сосудистой системы (ССС) [1–2], недостаточное внимание к которому в спорте грозит опасностью развития тяжелых осложнений вплоть до внезапной сердечной смерти (ВСС). Приблизительно 1 из 50 000 молодых спортсменов умирает в ходе занятий спортом [3]. При этом часто причина ВСС остается невыясненной. По данным В. J. Maron, в большинстве случаев причиной ВСС являются своевременно недиагностированные болезни CCC (кардиомиопатии, кардиты, аномалии коронарных артерий, первичные электрические болезни миокарда и др.) [4]. В связи

с этим внимание специалистов различного профиля к проблемам спортивной кардиологии неуклонно возрастает, однако многие аспекты этиопатогенеза кардиальных нарушений в спорте остаются недостаточно изученными [1]. Согласно результатам последних аутопсий, погибшие спортсмены часто не имеют признаков органического поражения сердца. Таким образом, вероятные патогенетические механизмы фатальных событий могут крыться не в гемодинамических нарушениях и требуют дополнительного изучения [4].

Несмотря на пристальное внимание специалистов к проблеме спортивной кардиологии, неуклонное возрастание количества лиц, занятых

в профессиональной спортивной деятельности, приводит к возникновению ряда затруднений при оценке параметров морфофункционального состояния ССС спортсменов.

Данное явление обусловлено в первую очередь отсутствием четких диагностических критериев выявления дезадаптационных нарушений со стороны сердца у атлетов, а также выраженной вариативностью показателей в связи с возрастной неоднородностью лиц, подверженных спортивным нагрузкам. Кроме того, существенные различия при формировании адаптационных трансформаций могут вносить и сами нагрузки, в силу различной спортивной специализации [5]. Все это часто приводит или к необоснованному отводу от спорта, или, напротив, бесконтрольному допуску спортсменов к интенсивным физическим нагрузкам и жесткой стимуляции физической работоспособности без учета скрытых механизмов дезадаптации, а также функциональных резервов атлета.

Обзор литературы

Говоря о тех или иных изменениях ССС у атлетов, принято выделять патологическое и физиологическое ремоделирование [2; 6–7]. Что касается структурного ремоделирования ССС у спортсменов, следует отметить зависимое от характера нагрузок увеличение размеров полостей сердца и массы миокарда (гипертрофию). Наиболее выраженная дилатация левых отделов сердца развивается при занятиях видами спорта на выносливость с максимальной выраженностью динамического компонента (академическая гребля, беговые лыжи, велосипедный спорт и плавание). Занятия высокостатическими видами спорта (тяжелая атлетика и борьба) приводят к преимущественному увеличению толщины миокарда левого желудочка (ЛЖ). Критические значения адаптационной гипертрофии и дилатации полости

ЛЖ для взрослых спортсменов впервые были описаны В. J. Macon [4]: для конечного диастолического размера (КДР) – 60 мм, для межжелудочковой перегородки (МЖП) и задней стенки ЛЖ – 13 мм. Показатели КДР в пределах 56–60 мм и МЖП 10–12 мм было предложено рассматривать как «серую зону», требующую углубленного обследования.

Физиологические пределы спортивного ремоделирования сердца для подростков 12–18 лет были определены британскими специалистами во главе с S. Sharma [8]. Сходные данные были получены в работе Т. С. Гуревич, определившей значения 95 перцентилей для индекса массы миокарда (ИММ) ЛЖ – 90,8 г/м², КДР – 62 мм, толщины МЖП – 12 мм, задней стенки ЛЖ – 10 мм [9]. По нашему мнению, при определении степени гипертрофии миокарда ЛЖ у детей-спортсменов, следует использовать значения 95 перцентилей, определенные для общей популяции: 45 г/м^{2,7} для мальчиков и 40 г/м^{2,7} для девочек или 110 г/м². При этом толщина задней стенки ЛЖ и МЖП не должна превышать 10–12 мм, а КДР – 55 мм и 60 мм у девушек и юношей соответственно [10–11].

Известный факт о замедлении интервала QT в состоянии покоя у спортсменов относительно их здоровых нетренированных сверстников, вероятно, также обусловлен нейрогуморальными сдвигами. При этом важно дифференцировать изменение интервала с врожденной и приобретенной электрической нестабильностью миокарда [11–13].

Определенную клиническую значимость в диагностике стрессиндуцированных изменений ССС у спортсменов могут иметь некоторые биохимические маркеры повреждения миокарда. Основываясь на собственных наблюдениях, отметим, что профессиональные атлеты с признаками дезадаптивного ремоделирования ССС чаще демонстрируют высокие уровни КФК МВ, тропонина I,



предсердного натриуретического пептида по сравнению с менее тренированными спортсменами (27 % и 6,3 % соответственно, $p < 0,05$) [10; 14]. При этом становится очевидно, что в генезе патологического ремоделирования лежит не только гипертрофия миокарда как основная причина подобного состояния, но и другие механизмы, которые могут приводить в том числе к развитию патологического увеличения массы миокарда [15].

В связи с этим **целью работы** является экспериментальная оценка ультраструктуры миокарда, а также некоторых биохимических показателей крови мышцей, подвергнутых регулярным физическим нагрузкам с последующей экстраполяцией полученных данных на результаты клинко-инструментального обследования группы атлетов, регулярно подвергаемых интенсивным физическим нагрузкам.

Материалы и методы

В экспериментальной части работы было проведено исследование ультраструктуры миокарда белых мышцей на модели физической нагрузки «плавание до отказа» по модифицированной методике Н. Р. Сейфуллы. Физическую работоспособность оценивали по продолжительности плавания мышцей. В эксперименте участвовало 60 животных.

Ультрамикроскопическое исследование было проведено по стандартной методике, описанной нами ранее [16]. Миокард фиксировали в 3%-ном глutarовом альдегиде, образцы заливали в эпон-аралдит; ультратонкие срезы контрастировали уранилацетатом и цитратом свинца. Изучение препаратов проводилось на электронном микроскопе «ЭМ-125».

Определение содержания катехоламинов (КА) в ткани ЛЖ сердец мышцей, подвергнутых интенсивной физической нагрузке, проводили методом У. Эшлер и Ф. Лимайко в модификации Э. Ш. Матлиной. Полученные спе-

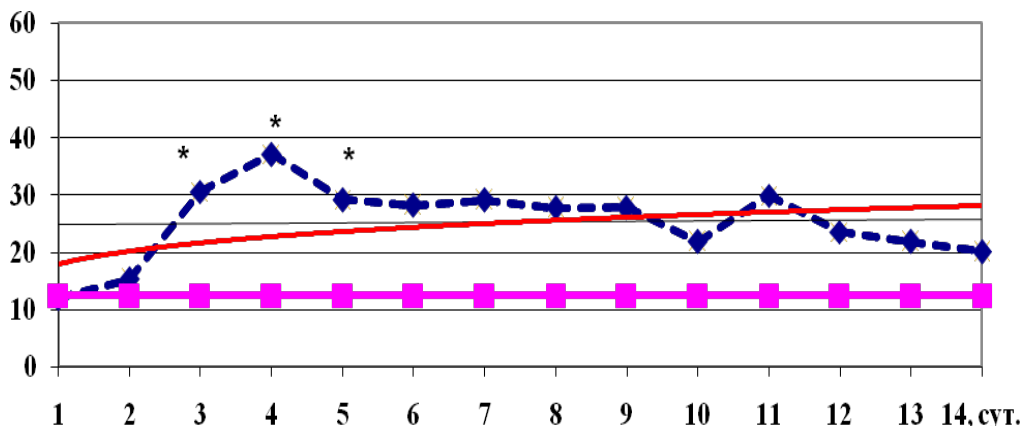
цифически флуоресцирующие биогенные амины флуориметрировали на анализаторе биожидкостей «Флюорат-02-АБЛФ».

В клинической части работы нами было обследовано 142 подростка (44 девочки и 98 мальчиков), занимающихся в спортивных секциях Республики Мордовия (футбол, хоккей, лыжные гонки, биатлон, легкая атлетика). Возраст исследуемых составлял $14,2 \pm 2,4$ лет. Занятия атлетов относились к учебно-тренировочному этапу. Контрольную группу составили 20 детей (10 мальчиков и 10 девочек), не занимающихся спортом; средний возраст – $13,7 \pm 1,68$ лет. Результаты были подвергнуты статистической обработке с помощью программы «Statistica10». Достоверность различий качественных признаков оценивали по критерию χ^2 , а количественных величин – по t-критерию Стьюдента для зависимых и независимых выборок.

Обследование включало в себя физикальный осмотр, электрокардиографию (ЭКГ), эхокардиографию в двухмерном и доплеровском режимах («AlokaProSoundSSD-5500», «ToshibaAplio-4000»), холтеровское мониторирование (ХМ) ЭКГ (система «Кардиотехника-04»), велоэргометрию (диагностическая система «Валента», «Кардиотехника») по стандартной методике (ступенчатая проба с шагом в 25 Вт по 3 мин без отдыха), а также общеклинические, лабораторные исследования с определением уровня кортизола, тропонина I (набор реактивов «DRGDiagnosics», Германия), β -адренорецепторов мембран – β -АРМ (набор реактивов ООО «Агат», Москва), креатинфосфокиназы (КФК), лактатдегидрогеназы (ЛДГ) (набор реактивов ООО «Витал Диагностика»).

Результаты исследования

Ежедневные физические нагрузки, которым подвергались животные исследуемой группы, сформировали определенную динамику работоспособности (рис. 1).



Р и с. 1. Продолжительность физической нагрузки мышей в тесте плавания «до отказа», мин
(* – отличия соответствующих контрольных значений достоверны при $p < 0,05$)

F i g. 1. Duration of physical activity of mice in the test of swimming to “refusal”, min
(* – differences of the corresponding control values are reliable at $p < 0,05$)

В первые дни эксперимента продолжительность плавания мышей увеличивалась с $12,0 \pm 1,78$ до $37,2 \pm 3,35$ мин (4-е сутки). В последующие дни выносливость снижалась (до $20,2 \pm 2,6$ минут к 14 суткам), однако практически оставалась выше, чем у нетренированных животных ($p < 0,05$).

Оценивая динамику работоспособности животных исследуемой группы, стоит сказать, что она соответствовала классическим фазам стресса по Г. Селье [3–4]. Работоспособность мышей довольно четко коррелировала с уровнем летальности экспериментальных животных (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

T a b l e 1

Количество животных, выживших в эксперименте

The number of survivors animals in experiment

Группа / Group	Количество животных в группе / Number of animals in group	Сутки / Days		
		4	8	14
Исследуемая группа / Studied group	30	30	22#	18#
Контрольная группа / Control group	30	30	30	30

Примечания: # – отличия соответствующих значений группы контроля достоверны при $p < 0,05$ / Note: # – differences of the corresponding control values are reliable at $p < 0,05$.

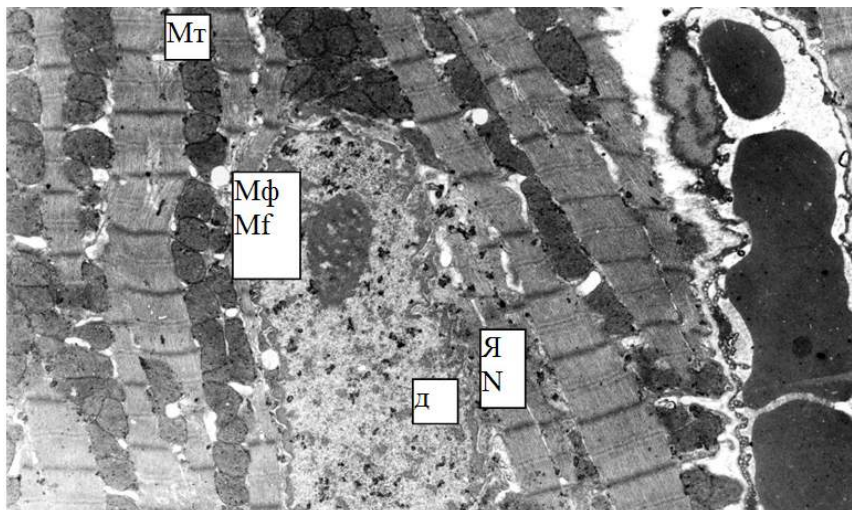
Самым интересным, на наш взгляд, были выявленные ультраструктурные изменения миокарда, опосредованные физическими нагрузками. Основной особенностью морфологической кар-

тины миокарда животных данной группы относительно интактных (рис. 2) был выраженный полиморфизм структуры клеток и значительные повреждения кардиомиоцитов в виде инвагинаций



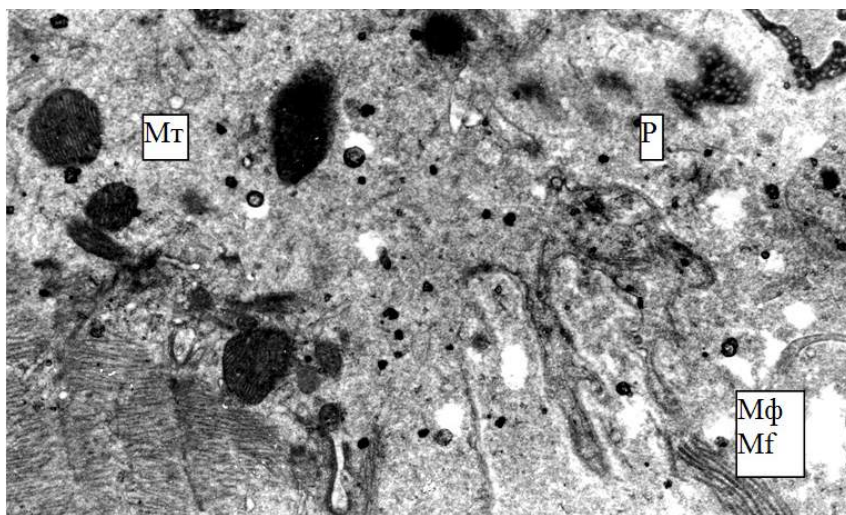
нуклеолеммы, расширения перинуклеарных пространств, повреждений базальной мембраны и плазмолеммы

с развитием внутриклеточного отека, деструкцией миофибрилл и повреждением митохондрий (рис. 3).



Р и с. 2. Ультраструктура миокарда мышей группы интактного контроля (ядро (Я), митохондрии (Мт), миофибриллы (Мф), $\times 10000$)

F i g. 2. Ultrastructure of a myocardium of mice group of intact control (nucleus (N), mitochondrions (Mt), myofibril (Mf), $\times 10000$)



Р и с. 3. Ультраструктура миокарда животных на фоне физической нагрузки (разрушение плазмалеммы и базальной мембраны (Р), деструкция миофибрилл (Мф), митохондрии (Мт), $\times 18000$)

F i g. 3. Ultrastructure of a myocardium of animals with physical activity, destruction of a plasmalemma and basal membrane (P), myofibril destruction (Mf), mitochondrions (Mt), $\times 18000$)

Данные изменения были вызваны, вероятно, не только физическим перенапряжением, но и стрессорным компонентом модели.

Стоит отметить, что экспериментальная нагрузка в виде плавания «до отказа» вызывала (по данным световой микроскопии) увеличение диаметра кардиомиоцитов до $9,520 \pm 0,334$ мкм относительно интактных животных ($7,14 \pm 0,31$ мкм, $p < 0,001$), что отражало формирование гипертрофии миокарда.

Оценивая уровень КА, отметим, что показатели норадреналина в группах мышечной находились на паритетном значении и составляли $6,01 \pm 1,697$ против $7,06 \pm 1,482$ нмоль/г в группе контроля. Показатели уровня адреналина имели более выраженные отличия ($p < 0,01$) и составляли $14,64 \pm 2,640$ и $4,98 \pm 0,587$ нмоль/г в исследуемой группе и группе контроля соответственно.

Сопоставляя результаты микроскопии и уровень КА в миокарде исследуемых животных, подвергнутых регулярным интенсивным физическим нагрузкам, можно говорить о комбинированном деструктивном влиянии на миокард непосредственно физических нагрузок, а также гуморальном нарушении, выражающемся в виде гиперкатехоламинергии. Данный факт может указывать на комбинированное влияние физических и нейрогуморальных факторов на развитие дезадаптационных трансформаций в миокарде в ходе регулярных интенсивных физических нагрузок.

В результате клинической части исследования было установлено, что 28 % обследуемых атлетов имели признаки стрессорной кардиопатии по предложенным нами ранее критериям (табл. 2) [10; 14].

Таблица 2

Table 2

Модифицированные критерии диагностики стрессорной кардиомиопатии у детей-спортсменов

The modified diagnostics criteria of stressor cardiomyopathy in young athletes

Большие / Large violations	Малые / Minor violations
1	2
ЭКГ-нарушения / ECG-violations	
Нарушение процессов реполяризации (инверсия зубца Т в 2 нижних и латеральных отведениях), не исчезающие после ФН / Disturbance of processes of repolarization (inversion of the wave T in 2 lower and lateral abductions), not disappearing after exercise test Депрессия сегмента ST, патологический зубец Q / ST-segment depression, pathological wave of Q Синусовая брадикардия < 50 уд./мин или тахикардия > 100 уд./мин / The sinus bradycardia is lower than 50 beats/min or tachycardia more than 100 beats/min Паузы ритма $> 2\ 500$ мс при ХМ / Rhythm pauses more than 2 500 ms at HM Атрио-вентрикулярная блокада III ст. и II ст. II типа на ЭКГ покоя / AV block of the III, and the II degree of the II type on ECG	Инверсия з.Т в 1 отведении, в том числе исчезающая после ФН (инверсия Т в ортостазе) / Inversion T in 1 abduction including disappearing after exercise test (inversion of T in an orthostasis) Синусовая брадикардия в пределах 60 уд./мин, синусовая тахикардия не более 100 уд./мин / Sinus bradycardia within 60 beats/min, sinus tachycardia no more than 100 beats/min Паузы ритма 2 000–2 500 мс при ХМ. Атрио-вентрикулярная блокада I ст, II ст. I типа / Pauses of a rhythm of 2 000–2 500 ms at HM. AV block of the I, II I type Единичные экстрасистолы на ЭКГ покоя / Single extrasystoles on a rest ECG



1	2
Частая ($> 2\,000$/сут. по данным ХМ), парная групповая полиморфная желудочковая экстрасистолия / Frequent (more than 2 000/days according to HM), didymous group polymorphic ventricular premature ventricular contraction Укорочение (< 360 мс) или удлинение (> 460 мс в покое или более 460–470 мс в ходе ВЭМ-пробы) интервала QTc / QTc interval shorting less than 360 ms or elongation of QTS more than 460 ms at rest or more than 460–470 ms during the VEM Отклонение ЭОС вправо или влево / Полная блокада ножек п.Гиса / Total block of legs of the item of Gis Гипертрофия миокарда предсердий / Hypertrophy of a myocardium of auricles	Отсутствие восстановления QTc в процессе ВЭМ-пробы и к 3–4 мин отдыха, удлинение QTc на пике нагрузки (> 400 мс) / Lack of restoration of QTc in the course of VEM and by 3–4 minute of rest, elongation of QTc at peak of a load over 400 ms Микро- макроальтернизация зубца Т при ФН на ЭКГ или ХМЭКГ / Micro makroalteration of the wave T at exercise test on an ECG or HMEKG Одиночная желудочковая экстрасистолия (по данным ВЭМ-пробы) / Single ventricular premature ventricular contraction, according to VEM-assay Вольтажные критерии ГМ ЛЖ у девушек / Hypertrophy of a myocardium
Нарушение гемодинамики / Haemodynamic compromise	
Снижение сократительной способности миокарда (фракция выброса $< 50\%$) / Decrease ejection fraction $< 50\%$ Снижение максимального потребления кислорода (МПК) $< 45\text{--}54$ мл/мин/кг в зависимости от вида спорта / Decrease in the maximum consumption of oxygen (MCO) $< 45\text{--}54$ ml/min. depending on a sport	Избыточный прирост (или снижение) АД, замедление времени восстановления АД и/или ЧСС после ФН $> 3\text{--}4$ мин / Excess gain (or decrease) blood pressure, delay of time of restoration blood pressure and/or HB after exercise test more than 3–4 min
Нарушение морфологии сердца / Violation of heart morphology	
Выраженная гипертрофия миокарда ЛЖ: толщина задней стенки ЛЖ $> 11\text{--}12$ мм или межжелудочковой перегородки $> 10\text{--}12$ мм или ИММ ЛЖ > 110 г/м² или 45 г/м^{2,7} (99 перцентиль) / The expressed myocardium hypertrophy: thickness of a back wall of LV 11–12 mm or interventricular 10–12 mm or index of LV mass of a myocardium 110 g/m² or 45 g/m^{2,7} Конечный диастолический размер ЛЖ > 55 мм у девушек и 60 – у юношей / The final diastolic size LV 55 mm in girls and 60 in young men Нарушение диастолической функции: $E/A < 1,48$ / Violation of diastolic function: $E/A 1,48$	Умеренная гипертрофия миокарда ЛЖ: ИММ > 90, но < 110 г/м² или > 36, но < 45 г/м^{2,7} (95–99 перцентиль) / Moderate hypertrophy of LV: index of mass LV more 90, but below 110 g/m² Конечный диастолический размер левого желудочка сердца 52–56 мм / Final diastolic size of LV of 52–56 mm Нарушение соотношения конечный диастолический объем/масса миокарда ЛЖ $< 0,6$ усл. ед. /
Изменение биохимических показателей / Change of biochemical indicators	
	Повышение активности КФКМВ, тропонина I, кортизола, предсердного натрийуретического пептида / Increase of activity Creatinphosphokinase, troponine I, cortizole, atrial natriuretic factor
Нарушение вегетативной регуляции сердца / Violation of vegetative heart regulation	
Симпатикотонический тип регуляции ритма в покое по данным ритмограммы / Sympathicotononic regulation of rhythm	Синдром вегетативной дисфункции (патологический тип реакции на дыхательную пробу) по ритмограмме / Syndrome of vegetative dysfunction (pathological type of reaction to respiratory test) on rhythmogramm

По данным КРГ, у 33,75 % обследованных атлетов был выявлен высокий уровень стрессовой нагрузки, проявляющийся в повышении содержания КА, в сочетании с высоким уровнем индекса напряжения (> 100 усл. ед.). Необходимо отметить, что уровень кортизола (определяющего уровень стрессовой нагрузки) в среднем по группе спортсменов находился в пределах допустимой нормы, однако у 17 % атлетов был выше пороговой величины – 600 нмоль/л.

По результатам ЭхоКГ, у всех обследуемых атлетов были выявлены различные гемодинамические нарушения. Наиболее часто встречалась дилатация полостей сердца, преимущественно ЛЖ: данный показатель превышал допустимые возрастные значения у 62 % обследуемых подростков-спортсменов. У 14 % атлетов была выявлена гипертрофия миокарда ЛЖ, а среднее значение ИММ было статистически значимо выше в группе спортсменов (мужского пола), по сравнению с аналогичными лицами контрольной группы, не занимающимися спортом: $72 \pm 4,3$ и $57,7 \pm 1,6$ г/м² соответственно ($p < 0,05$).

Кроме того, интересным, на наш взгляд, является тот факт, что показатель ИММЛЖ имел довольно тесную взаимосвязь с уровнем кортизола ($r = 0,67$) и норадреналина ($r = 0,61$). Показатель скорректированного интервала QT также коррелировал с выраженностью гипертрофии миокарда.

Под влиянием интенсивных физических нагрузок регистрировались патологические изменения ССС в виде выраженного вегетативного дисбаланса с преобладанием симпатикотонии, высокой представленности кри-

тической брадикардии, аритмогенной готовности и нарушения обменных процессов в миокарде, изменения показателей центральной гемодинамики, напряжения адаптационных механизмов. Кроме того, у детей, подвергнутых интенсивным физическим нагрузкам, отмечалось увеличение среднего уровня тропонина I, активности КФК и ЛДГ, свидетельствующее о повреждении миокарда [14].

Обсуждение и заключения

Проведенные экспериментальные и клинические исследования позволяют сделать вывод о негативном влиянии чрезмерных физических нагрузок на структуру миокарда. Прямое повреждающее действие проявлялось в нарушении целостности внутриклеточных структур и миофибрилл. Интенсивные физические нагрузки провоцировали у экспериментальных животных развитие гиперткатехоламинергии. В результате клинических наблюдений за лицами, испытывающими регулярные физические нагрузки, было установлено формирование дезадаптационных нарушений ССС в виде нарушения вегетативного баланса, повышения уровня стресса (возрастание уровня КА и кортизола, увеличение индекса напряженности по данным КРГ), нарушения параметров центральной гемодинамики (гипертрофия миокарда, дилатация полостей). Подобные механизмы формирования дезадаптационных трансформаций ССС в дальнейшем способствовали формированию электрической нестабильности миокарда, что может приводить к различным, в том числе фатальным, нарушениям ритма сердца.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дегтярева Е. А. Сердце и спорт у детей и подростков: проблемы взаимодействия. М., 2011. 228 с.
2. Земцовский Э. В. Спортивная кардиология. СПб., 1994. С. 464.
3. Sudden deaths in young competitive athletes: analysis of 1866 deaths in the United States, 1980–2006 / B. J. Maron [et al.] // Circulation. 2009. Vol. 119 (8). P. 1085–1092.



4. **Maron B. J., Pelliccia A.** The heart of trained athletes cardiac remodeling and the risks of sports, including sudden death circulation. NEJM. 2006. Vol. 114. P. 1633–1644. URL: [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=13.%09Maron+BJ%2C+Doerer+JJ%2C+Haas+TS%2C+Tierney+DM%2C+Mueller+FO.+Sudden+deaths+in+young+competitive+athletes%3A+analysis+of+1866+deaths+in+the+United+States%2C+1980-2006.+Circulation+2009.+T.119\(8\).+P.1085-92.](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=13.%09Maron+BJ%2C+Doerer+JJ%2C+Haas+TS%2C+Tierney+DM%2C+Mueller+FO.+Sudden+deaths+in+young+competitive+athletes%3A+analysis+of+1866+deaths+in+the+United+States%2C+1980-2006.+Circulation+2009.+T.119(8).+P.1085-92.)

5. Особенности физиологического ремоделирования спортивного сердца / А. В. Смоленский [и др.] // Лечебная физкультура и спортивная медицина. 2012. № 6. С. 9–14. <http://lfksport.ru/archive/archive2012/особенности-физиологического-ремод.>

6. **Балыкова Л. А., Корнилова Т. И., Балашов В. П.** Опыт применения антиоксидантов для лечения синдрома слабости синусового узла у детей. Российский вестник перинатологии и педиатрии. 2001. № 6. С. 60–64. URL: http://elibrary.ru/author_items.asp.

7. **Гаврилова Е. А.** Спортивное сердце: стрессорная кардиопатия. М. : Советский спорт, 2007. 224 с.

8. Physiologic limits of left ventricular hypertrophy in junior elite athletes: relevance to differential diagnosis of athlete's heart and hypertrophic cardiomyopathy / S. Sharma [et al.] // J. Amer. Coll. Cardiology. 2002. Vol. 40 (8). P. 1431–1436. URL: [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=J+Amer+Coll+Cardiology.+2002.+T.40\(8\).+P.1431-1436.](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=J+Amer+Coll+Cardiology.+2002.+T.40(8).+P.1431-1436.)

9. **Гуревич Т. С., Матвеев С. В., Кириллов Д. А.** Ранние эхокардиографические признаки перенапряжения сердечно-сосудистой системы у спортсменов (диагностика, реабилитация). Лечебная физкультура и спортивная медицина. 2012. № 6. С. 15–19. URL: <http://lfksport.ru/archive/archive2012/ранние-эхокардиографические-признак.>

10. Современные подходы и возможности оценки состояния сердечно-сосудистой системы в детском спорте / Л. А. Балыкова [и др.] // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2015. Т. 14, № 5. С. 53–59. URL: <http://roscardio.ru/ru/cardiovascular-therapy-and-prevention/itemlist/search>.

11. Age-specific reference intervals for indexed left ventricular mass in children / P. R. Khoury [et al.] // J. Am. Soc. Echocardiogr. 2009. Vol. 22. P. 709–714. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Khoury+PR%2C+Mitsniefes+M%2C+Daniels+SR%2C+Kimball+TR%3A+Age-specific+reference+intervals+for+indexed+left+ventricular+mass+in+children.+J+Am+Soc+Echocardiogr+2009%2C+22%3A709-714.>

12. **Макаров Л. М.** Внезапная сердечная смерть в спорте. Кардиология. 2010. № 1. С. 46. URL: <http://www.cardio-journal.ru/ru/archive/article/2463>.

13. Physiological left ventricular hypertrophy or hypertrophic cardiomyopathy in an elite adolescent athlete: role of detraining in resolving the clinical dilemma. / S. Basavarajaiah [et al.] // Br. J. Sports Med. 2006. Vol. 40. P. 727–729. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Basavarajaiah+S.%2C+Wilson+M.%2C+Junagde+S.%2C+Jackson+G.%2C+Whyte+G.%2C+Sharma+S.%2C+Roberts+W.O.+Physiological+left+ventricular+hypertrophy+or+hypertrophic+cardiomyopathy+in+an+elite+adolescent+athlete%3A+role+of+detraining+in+resolving+the+clinical+dilemma.+Br.+J.+Sports+Med.+2006.T.+40.+P.+727-729.>

14. Опыт применения метаболических кардиопротекторов в детской спортивной медицине / Л. А. Балыкова [и др.] // Российский кардиологический журнал. 2011. № 5 (91). С. 52–58. URL: http://cardio.medi.ru/66_110508a.htm.

15. **Меерсон Ф. З., Пшенинкова М. Г.** Адаптация к стрессовым ситуациям и физическим нагрузкам. М. : Медицина, 1988. 256 с.

16. **Бутченко Л. А., Кушаковский М. С., Журавлев Н. Б.** Дистрофия миокарда у спортсменов. М., 1980. С. 225.

Поступила 06.05.2016; принята к публикации 08.06.2016; опубликована онлайн 30.09.2016

Об авторах:

Балыкова Лариса Александровна, директор Медицинского института, заведующая кафедрой педиатрии ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), доктор медицинских наук, профессор, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2290-0013>, larisabalykova@yandex.ru

Ивянский Станислав Александрович, доцент кафедры педиатрии Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат медицинских наук, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-0087-4421>, stivdoctor@yandex.ru

Громова Елена Викторовна, заместитель директора Медицинского института по учебной работе, профессор кафедры нормальной и патологической физиологии с курсом гигиены ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), доктор биологических наук, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-9255-2571>, gromova-bx@ya.ru

Варлашина Кристина Александровна, ассистент кафедры педиатрии Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-4918-8596>, ogarev-medfac@yandex.ru

Щекина Наталья Владимировна, заведующая отделением кардиологии ГБУЗ РМ «Детская республиканская клиническая больница» (Россия, г. Саранск, ул. Розы Люксембург, д. 15), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6207-5196>, drkb2@mail.ru

Давыдов Павел Александрович, студент Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5441-408X>, dap-pavel@yandex.ru

Вклад соавторов: Л. А. Балыкова: изучение концепции, научное руководство критический анализ и доработка текста; С. А. Ивянский: подготовка начального текста с последующей доработкой, анализ литературных данных, проведение экспериментальной работы; Е. В. Громова: формализованный анализ данных, консультирование по экспериментальной части работы; К. А. Варлашина: верстка, анализ литературных данных; Н. В. Щекина: редактирование текста; П. А. Давыдов: верстка, редактирование текста, компьютерные работы. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Degtyareva YeA. Serdtse i sport u detey i подростков: problemy vzaimodeystviya [Heart and sport: Interaction problems]. Moscow; 2011. (In Russ.)
2. Zemtsovskiy YeV. Sportivnaya kardiologiya [Sports cardiology]. St. Petersburg; 1994. (In Russ.)
3. Maron BJ, Doerer JJ, Haas TS, Tierney DM, Mueller FO. Sudden deaths in young competitive athletes: analysis of 1866 deaths in the United States, 1980-2006. *Circulation*; 2009; 119(8):1085-1092. Available from: [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=J+Amer+Coll+Cardiology+2002.+T.40\(8\).+P.1431-1436](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=J+Amer+Coll+Cardiology+2002.+T.40(8).+P.1431-1436).
4. Maron BJ, Pelliccia A. The heart of trained athletes cardiac remodeling and the risks of sports, including sudden death circulation. *NEJM*. 2006; 114: 1633-1644. Available from: [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=13.%09Maron+BJ%2C+Doerer+JJ%2C+Haas+TS%2C+Tierney+DM%2C+Mueller+FO.+Sudden+deaths+in+young+competitive+athletes%3A+analysis+of+1866+deaths+in+the+United+States%2C+1980-2006.+Circulation+2009.+T.119\(8\).+P.1085-92](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=13.%09Maron+BJ%2C+Doerer+JJ%2C+Haas+TS%2C+Tierney+DM%2C+Mueller+FO.+Sudden+deaths+in+young+competitive+athletes%3A+analysis+of+1866+deaths+in+the+United+States%2C+1980-2006.+Circulation+2009.+T.119(8).+P.1085-92).
5. Smolenskiy AV, Mikhaylova AV, Borisova YuA, Belotserkovskiy ZB, Lyubina BG, Tatarinova AYU. Osobennosti fiziologicheskogo remodelirovaniya sportivnogo serdtsa. *Lechebnaya fizkultura i sportivnaya meditsina* = Physiotherapy exercises and sports medicine. 2012; 6:9-14. Available from: <http://lfksport.ru/archive/archive2012/osobennosti-fiziologicheskogo-remode>. (In Russ.)
6. Balykova LA, Kornilova TI, Balashov VP. Opyt primeneniya antioksidantov dlya lecheniya sindroma slabosti sinusovogo uzla u detey [Experience of using antioxidants for the treatment of sick sinus syndrome in children]. *Rossiyskiy vestnik perinatologii i pediatrii* = Russian Gazette Perinatology and Pediatrics. 2001; 6:60-64. Available from: http://elibrary.ru/author_items.asp. (In Russ.)
7. Gavrilova YeA. Sportivnoye serdtse: stressornaya kardiopatiya [Sports heart: stressinduced cardiopathy]. Moscow: Sovetskiy sport; 2007; 224. (In Russ.)



8. Sharma S, Maron BJ, Whyte G, Firoozi S, Elliott PM. Physiologic limits of left ventricular hypertrophy in junior elite athletes: Relevance to differential diagnosis of athlete's heart and hypertrophic cardiomyopathy. *J. Amer. Coll. Cardiology*. 2002; 40(8):1431-1436. Available from: [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=J+Amer+Coll+Cardiology.+2002.+T.40\(8\).+P.1431-1436](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=J+Amer+Coll+Cardiology.+2002.+T.40(8).+P.1431-1436).
9. Gurevich TS, Matveyev SV, Kirillov DA. Ranniye ekhokardiograficheskiye priznaki perenapryazheniya serdechno-sosudistoy sistemy u sportsmenov (diagnostika, reabilitatsiya) [Early echocardiographic signs of an overstrain of cardiovascular system in athletes (diagnostics, rehabilitation)]. *Lechebnaya fizikultura i sportivnaya meditsina* = Physiotherapy exercises and sports medicine. 2012; 6:15-19. Available from: <http://lfksport.ru/archive/archive2012/ранние-эхокардиографические-признак>. (In Russ.)
10. Balykova LA, Ivyanskiy SA, Shirokova AA, Shchekina NV, Kalabkin NA. Sovremennyye podkhody i vozmozhnosti otsenki sostoyaniya serdechno-sosudistoy sistemy v detskom sporte. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika* = Cardiovascular therapy and prevention. 2015; 5(14):53-59. Available from: <http://roscardio.ru/ru/cardiovascular-therapy-and-prevention/itemlist/search>. (In Russ.)
11. Khoury PR, Mitsnifes M, Daniels SR, Kimball TR. Age-specific reference intervals for indexed left ventricular mass in children. *J. Am. Soc. Echocardiogr*. 2009; 22:709-714. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Khoury+PR%2C+Mitsnifes+M%2C+Daniels+SR%2C+Kimball+TR%3A+Age-specific+reference+intervals+for+indexed+left+ventricular+mass+in+children.+J+Am+Soc+Echocardiogr+2009%2C+22%3A709-714>.
12. Makarov LM. Vnezapnaya serdechnaya smert v sporte [Sudden cardiac death in sport]. *Kardiologiya* = Cardiology. 2010; 1:45-47. (In Russ.)
13. Basavarajaiah S, Wilson M, Junagde S, Jackson G, Whyte G, Sharma S, Roberts WO. Physiological left ventricular hypertrophy or hypertrophic cardiomyopathy in an elite adolescent athlete: role of detraining in resolving the clinical dilemma. *Br. J. Sports Med*. 2006; 40:727-729. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Basavarajaiah+S.%2C+Wilson+M.%2C+Junagde+S.%2C+Jackson+G.%2C+Whyte+G.%2C+Sharma+S.%2C+Roberts+W.O.+Physiological+left+ventricular+hypertrophy+or+hypertrophic+cardiomyopathy+in+an+elite+adolescent+athlete%3A+role+of+detraining+in+resolving+the+clinical+dilemma.+Br.+J.+Sports+Med.+2006.T.+40.+P.+727-729>.
14. Balykova LA, Ivyanskiy SA, Urzyayeva AN, Balashov VP, Ivyanskaya NV, Shchekina NV. Opyt primeneniya metabolicheskikh kardioprotektorov v detskoj sportivnoy meditsine [Experience of application of metabolic cardioprotectors in children's sports medicine]. *Rossiyskiy kardiologicheskij zhurnal* = Russian cardiological journal. 2011; 5(91):52-58. Available from: http://cardio.medi.ru/66_110508a.htm (In Russ.)
15. Meyerson FZ, Pshennikova MG. Adaptatsiya k stressornym situatsiyam i fizicheskim nagruzkam [Adaptation to stressful situations and physical activities]. Moscow: Medicine; 1988.
16. Butchenko LA, Kushakovskiy MS, Zhuravlev NB. Distrofiya miokarda u sportsmenov [Dystrophy myocardium in athletes]. Moscow; 1980.

Submitted 06.05.2016; accepted 08.06.2016; published online 30.09.2016

About the authors:

Larisa A. Balykova, head of Chair of Pediatrics, director of Medical Institute, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St, Saransk, Russia), Dr.Sci. (Medicine), professor, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-2290-0013>, larisabalykova@yandex.ru

Stanislav A. Ivyanskiy, docent of Chair of Pediatrics, Medical Institute, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St, Saransk, Russia), Ph.D. (Medicine), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-0087-4421>, stivdoctor@yandex.ru

Yelena V. Gromova, deputy director of Medical Institute, professor of the Normal and Pathological Physiology with the Hygiene course chair, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St, Saransk, Russia), Dr.Sci. (Biology), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-9255-2571>, gromova-bx@



ya.ru

Kristina A. Varlashina, assistant of Chair of Pediatrics, Medical Institute, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St, Saransk, Russia), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4918-8596>**, ogarev-medfac@yandex.ru

Natalya V. Shchekina, Head of the Division of Cardiology, Republican Children's Clinical Hospital (15, Rozy Lyuksemburg St., Saransk, Russia), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6207-5196>**, drkb2@mail.ru

Pavel A. Davydov, student of Medical Institute, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St, Saransk, Russia), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5441-408X>**, dap-pavel@yandex.ru

The contribution of the authors: L. A Balykova developed a theoretical framework, led scientific research, made a critical analysis and revision of the article; S. A. Ivyansky created the original text of the article, analyzed the literary aspects and carried out experimental work; Ye. V. Gromova made data analysis, advised experimental part of the work; K. A. Varlashina formatted text articles; N. V. Shchekina edited the final text of the article; P. A. Davydov edited and formatted the text. All authors have read and approved the final manuscript.



К ВОПРОСУ ОБ АНТИИШЕМИЧЕСКОЙ И АНТИГИПОКСИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НОВОГО ПРОИЗВОДНОГО (RS) 4-НИТРО-N-[1-ФЕНИЛ-5(ДИЭТИЛАМИНО) ПЕНТИЛ] БЕНЗАМИДА

Е. В. Блинова, А. И. Мелешкин, М. Х. С. Яхья, О. В. Василькина, А. Г. Ковышкин, А. В. Абросимов, Н. А. Курганов, Ю. Н. Елизарова, Д. С. Блинов
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)

Введение. В проведенных ранее исследованиях были изучены острая токсичность и антиаритмическая активность нового соединения. Полученные результаты позволили предполагать наличие у вещества других видов фармакологической активности: антиишемической и антигипоксической.

Цель исследования – изучить некоторые аспекты антиишемического и антигипоксического действия нового производного 4-нитро-N-[1-фенил-5(диэтиламино)пентил] бензамида (лабораторный шифр – ЛХТ-N102).

Материалы и методы. Эксперименты проводились на беспородных крысах-самцах и мышах обоего пола, а также изолированных сердцах крыс обоего пола. Антиишемическая активность была изучена дифференциальным индикаторным методом определения размеров зон ишемии и некроза; антигипоксическая – на моделях острой асфиксии и гипоксии с гиперкапнией. Влияние вещества на сократимость миокарда было установлено опытным путем на изолированных гипоксических сердцах по Лангендорфу.

Результаты исследования. В результате проведенных опытов на крысах было установлено, что L-глутаминат 4-нитро-N-[1-фенил-5(диэтиламино)пентил] бензамида при профилактическом внутривенном введении в дозе 1,7 мг/кг (5 % от показателя DL_{50} при внутривенном введении мышам с учетом межвидового переноса дозы) сокращает размер зоны некроза при экспериментальном инфаркте миокарда. Перфузия по Лангендорфу изолированного сердца крысы раствором, содержащим 10^{-5} М ЛХТ-N102, сопровождается развитием положительного инотропного действия. Соединение L-глутаминат 4-нитро-N-[1-фенил-5(диэтиламино)пентил] бензамида увеличивает продолжительность биоэлектрической активности сердца и выживаемость мышей в условиях формирования острой асфиксии и гипоксии с гиперкапнией. Полученные результаты позволяют утверждать, что одной из характеристик соединения ЛХТ-N102 является антиишемический эффект, в основе которого лежат антигипоксические свойства и способность вещества оптимизировать биоэлектрические процессы в миокарде.

Ключевые слова: ишемия, гипоксия, ЛХТ-N102, L-глутаминат 4-нитро-N-[1-фенил-5(диэтиламино)пентил] бензамида, антиишемическое действие, биоэлектрическая активность, инотропная функция, зона некроза и ишемии

Для цитирования: К вопросу об антиишемической и антигипоксической активности нового производного (RS) 4-нитро-N-[1-фенил-5(диэтиламино) пентил] бензамида / Е. В. Блинова [и др.] // Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 3. С. 349–358. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201603.349-358

Благодарности: Авторы признательны создателю соединения ЛХТ-N102 лауреату Государственной премии РФ профессору С. Я. Скачиловой за предоставленную субстанцию для исследования. Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ.

© Блинова Е. В., Мелешкин А. И., Яхья М. Х. С., Василькина О. В., Ковышкин А. Г., Абросимов А. В., Курганов Н. А., Елизарова Ю. Н., Блинов Д. С., 2016

ON ANTI-ISCHEMIC AND ANTI-HYPOXIC ACTIVITY OF THE NOVEL COMPOUND OF (RS) 4-NITRO-N-[1-PHENYL-5-(DIETHYLAMINO)PENTHYL]BENZAMID

Ye. V. Blinova, A. I. Meleshkin, M. Kh. S. Yakhya, O. V. Vasilkina, A. G. Kovyshkin, A. V. Abrosimov, N. A. Kurganov, Yu. N. Yelizarova, D. S. Blinov
National Research Mordovia State University (Saransk, Russia)

Introduction. The recent studies demonstrated acute toxicity data and antiarrhythmic activity of a novel compound 4-Nyro-N-[1-Phenyl-5-(Diethylamino) Penthyl]Benzamid. These results allow us to suggest the presence of anti-ischemic and anti-hypoxic activities in the compound.

Material and Methods. The experiments have been carried out in male rats by differential staining method of heart's necrotic and ischemic zones size dimension; asphyxiation and hyper carbonic hypoxia were set in mice. The inotropic activity of the compound was studied in rat's isolated hypoxic heart by Langendorf method.

Results. The experiment in rats with acute myocardial infarction shows that preventive intravenous administration of 1,7 mg/kg (it corresponds with 5 % DL_{50} index for mice) L-glutamic compound of 4-Nyro-N-[1-Phenyl-5(Diethylamino) Penthyl] Benzamid (laboratory name LCT-H102) solution leads to heart's necrotic zone restriction. Isolated rat's heart perfusion by 10^{-5} M LCT-N102 solution demonstrates positive inotropic activity. The compound administered by the mentioned way, prolongs both bioelectric cardiac activity and life expectancy of mice with experimental acute asphyxiation and hyper carbonic hypoxia. Considering these results we can constitute with high probability that LCT-N102 anti-ischemic effect is a consequence of its anti-hypoxic activity as well as myocardial bioelectric process optimization.

Keywords: ischemia, hypoxia, LCT-N102, L-glutamic compound of 4-Nyro-N-[1-Phenyl-5(Diethylamino)Penthy]Benzamid, antiischemic activity, bioelectric activity, inotropic effect, ischemic and necrotic zones

For citation: Blinova YeV, Meleshkin AI, Yakhya MKhS, Vasilkina OV, Kovyshkin AG, Abrosimov AV, Kurganov NA, Yelizarova YuN, Blinov DS. On anti-ischemic and anti-hypoxic activity of the novel compound of (RS) 4-Nyro-N-[1-Phenyl-5-(Diethylamino) Penthy]Benzamid. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2016; 3(26):349-358. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201603.349-358

Acknowledgements: The authors are extremely grateful to State Prize Laureate Prof. S. Ya. Skachilova for the investigated compound, which has been synthesized under her authority.

Введение

Реалии сегодняшнего дня диктуют необходимость и целесообразность использования ряда лекарственных средств и даже целых групп препаратов в соответствии с их фармакологическим спектром и как антиаритмические, и как гипотензивные, и как антиишемические средства [1]. К таким относятся блокаторы β -адренорецепторов, амиодарон и некоторые другие. При этом хорошо известна основная триада возможных механизмов реализации анти-

ишемического действия [2–5], включающая влияние на работу сердца, тонус коронарных сосудов и сердечный метаболизм. Однако нередко перед исследователями встает диалектический вопрос о первичности антиаритмического или антиишемического эффектов. Вопрос этот далеко не праздный, как может показаться на первый взгляд, поскольку нередко купирование нарушения ритма сердца стабилизирует гемодинамику и повышает коронарный кровоток, или, напротив, коррекция кислородного ме-



таболизма миокарда позитивно сказывается на его ритмической функции [2; 6–7]. Не так давно внимание фармакологов привлекло новое соединение, являющееся рацемической смесью L-глутаматных солей стереоизомеров действующего вещества известного отечественного антиаритмика нибентана. Это соединение менее токсично, чем нибентан при энтеральном и парентеральных (внутрибрюшинный и внутривенный) путях введения, обладает сопоставимой со структурным предшественником антиаритмической активностью [8]. В рамках более широкого изучения фармакологических свойств данного соединения нам было интересно изучить его возможную антиишемическую и антигипоксическую активность, что и определило цель настоящей работы.

Методика исследования

Объектом исследования послужило вещество L-глутаминат (RS) 4-нитро-N-[1-фенил-5-(диэтиламино) пентил] бензамида в виде субстанции (лабораторный шифр учреждения-разработчика – ЛХТ-Н102), синтезированное в отделе химии и технологии синтетических лекарственных средств АО «ВНЦ БАВ» (Россия). Раствор для инъекций был изготовлен по экстермпоральной рецептуре с использованием воды для инъекций (ОАО «Биохимик», Россия). В качестве препарата сравнения был выбран неселективный β -адреноблокатор пропранолол («Обзидан» – официальный 0,1%-ный раствор в ампулах по 5 мл производства «Ixis Pharm», Германия). Во всех опытах *in vivo* исследуемое соединение и препарат сравнения вводили животным внутривенно в течение 3 мин с помощью электронного микродозатора-инжектора («Kent Scientific», США) за 15 мин до воспроизведения экспериментальной патологии. Дозы определяли пропорциональными 5 % от величины показателя DL_{50} , установленного для мышей при указанном пути введения [6]. Для расчета доз

крысам использовали правила межвидового переноса [9].

Опыты были поставлены на белых лабораторных крысах-самцах массой 287 ± 16 г и мышах обоего пола массой 19 ± 2 г в соответствии с требованиями закона РФ № 708н от 23.08.2010 «Об утверждении правил лабораторной практики». Животные были получены из Филиала «Столбовая» ФГБУ НЦБМТ ФМБА. В качестве средства для наркоза применяли тиопентал-натрий внутрибрюшинно в дозе 40 мг/кг.

Влияние соединения на размеры зон ишемии и некроза изучили на переведенных на ИВЛ («Rodent Ventilator», «Ugo Basile», Италия) крысах дифференциальным индикаторным методом [10]. Использовали красители «Evans Blue» и трифенилтетразолия хлорид («SIGMA», Германия).

Оценку инотропного действия и влияния ЛХТ-Н102 на продолжительность биоэлектрической активности миокарда проводили на гипоксическом изолированном по Лангендорфу сердце крыс [3] в перфузионной камере производства «Ugo Basile» (Италия). Изолированный орган перфузировали 10^{-5} М ЛХТ-Н102 или пропранолола в растворе Кребса-Генслея.

Антигипоксическое действие соединения изучили на модели острой асфиксии у наркотизированных мышей и модели острой гипоксии с гиперкапнией [11].

Статистическую обработку полученных результатов проводили параметрическими и непараметрическими методами с использованием пакета программ «BIOSTAT» при 5%-ном уровне значимости.

Результаты исследования

Дифференциальным индикаторным методом было установлено, что профилактическое внутривенное введение крысам L-глутамината 4-нитро-N-[1-фенил-5-(диэтиламино)пентил] бензамида в дозе 1,7 мг/кг сопровождается значимым при сравнении с группой контроля ($p = 0,041$) сокра-

шением зоны некроза (табл. 1). При этом размер зоны ишемии не изменяется, что привело к росту отношения размеров этих зон. Обращает на

себя внимание тот факт, что по силе эффекта изучаемое соединение сопоставимо с препаратом сравнения пропранололом.

Т а б л и ц а 1

Table 1

Влияние L-глутаминового производного рацемата 4-нитро-N-[1-фенил-5-(диэтиламино) пентил] бензамида и препаратов сравнения на размеры зон ишемии и некроза у крыс через 4 ч после окклюзии коронарной артерии

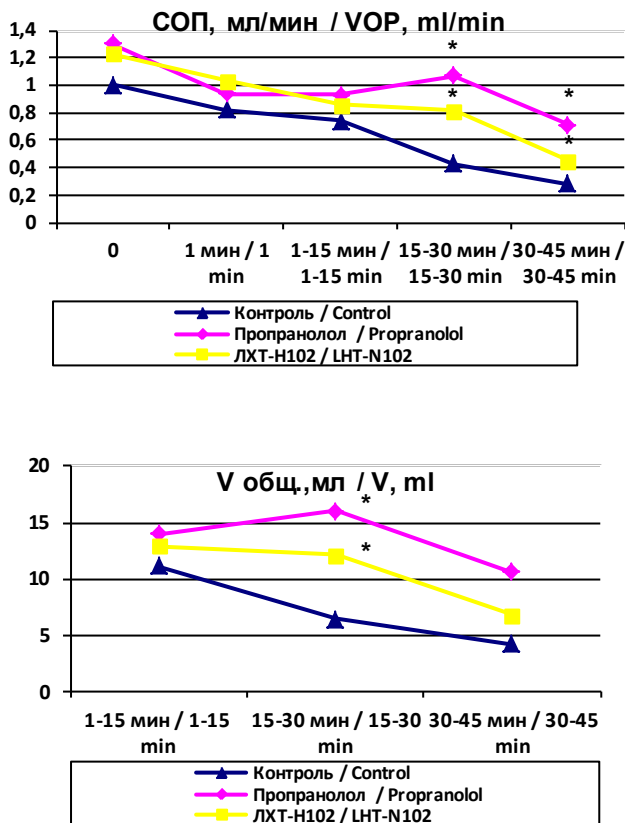
Effect of L-glutamine derivative (RS) 4-Nitro-N- [1-Phenyl-5-(Diethylamino)Pentyl] Benzamide and reference drugs on the heart necrosis and ischemia zone sizes in rats after 4 hours from coronary artery occlusion

Препарат (соединение) / A drug	Доза, мг/кг / Dose, mg/kg	Животных в опыте / Number of animals	Зона некроза к общей массе миокарда, % / Necrosis zone to total mass of the myocardium, %	Зона ишемии к общей массе миокарда, % / Ischemic zone to total mass of the myocardium, %	Зона ишемии к зоне некроза, % / Ischemic zone to necrosis zone %
Контроль / Control	–	10	45,6 ± 3,4	22,0 ± 3,1	41,0 ± 3,2
Пропранолол / Propranolol	2,0	6	31,0 ± 3,7* (p = 0,026)	21,0 ± 3,6	67,7 ± 3,5* (p = 0,018)
ЛХТ-Н102 / LHT-N102	1,7	6	35,3 ± 2,5* (p = 0,041)	22,2 ± 2,5	62,8 ± 3,0* (p = 0,009)

* – различия при сравнении с группой контроля достоверны (одномерный дисперсионный анализ, критерий Ньюмена-Кейлса) / * – the difference in comparison with the control group is reliable (univariate analysis of variance, Newman-Keys criterion)

Одним из возможных проявлений антиишемического действия соединения, позволяющих судить в том числе о безопасности вещества, является влияние на сократительную функцию и продолжительность биоэлектрической активности изолированного гипоксического сердца. В результате проведенных серий опытов на изолированном сердце по Лангендорфу были получены следующие результаты: со-

единение ЛХТ-Н102, как и препарат сравнения пропранолол, при перфузии в концентрации 10^{-5} М увеличивало по сравнению с контрольной группой как объем, так и скорость оттека перфузионной жидкости, демонстрируя наличие положительных инотропных свойств (рис. 1). При этом в отличие от препарата сравнения исследуемое соединение замедляло скорость угасания сердечных сокращений.



Р и с. 1. Динамика скорости оттока перфузата (СОП) и общего объема оттекаемого перфузата за 15 мин эксперимента (Vобщ.) на фоне 10^{-5} М ЛХТ-Н102 и пропранолола (* – различия при сравнении с контролем достоверны при $p < 0,05$ (дисперсионный анализ повторных измерений))

Fig. 1. The dynamics of the perfusate outflow velocity (POV) and the total perfusate volume for 15 minutes of the experiment (V) on the background of 10^{-5} M LHT-N102 and propranolol (* – the differences in comparison with the control are significant at $p < 005$ (ANOVA repeated measures))

Для решения вопроса о возможном оптимизирующем действии вещества ЛХТ-Н102 на процессы биоэнергетики сердечной мышцы была проведена оценка длительности сохранения биопотенциалов на модели острой асфиксии (табл. 2). Изучаемое соединение при профилактическом введении мышам в дозе 4,0 мг/кг пролонгировало период биоэлектрической активности миокарда в среднем до 578 с наряду с поддержанием сократительной способности в среднем до 386 в мин.

На модели гипоксии с гиперкапнией оценивали продолжительность жизни мышей, время появления одышки и длительность терминальных судорог. Так, L-глутаминат (RS) 4-нитро-N-[1-фенил-5-(диэтиламино) пентил] бензамида при внутривенном введении в дозе 4,0 мг/кг за 15 мин до воспроизведения патологического процесса повышал устойчивость подопытных животных к гипоксии. Соединение ЛХТ-Н102 способствовало выживанию 100 % животных, включенных в опыт, за период времени,

в течение которого в контроле погибали все мыши (табл. 3). Отметим, что в серии опытов увеличивалось время наступления рефлекторной одышки и сокращалась продолжительность терминальных судорог.

Т а б л и ц а 2

Table 2

Влияние L-глутамината 4-нитро-N-[1-фенил-5-(диэтиламино)пентил] бензамида (ЛХТ-N102) и пропранолола на продолжительность жизни мышей (время биоэлектрической активности миокарда) при острой асфиксии

Impact of L-glutamate (RS) 4-Nitro-N-[1-Phenyl-5- (Diethylamino)Pentyl] Benzamide (LHT-N102) and propranolole on life expectancy of mice (the time of the bioelectrical activity of the myocardium) in acute asphyxiation

Вещество / Substance	Доза, мг/кг / Dose, mg/kg	Количество опытов / Number of experiments	Продолжительность жизни, с / Life expectancy, sec	ЧСС, уд/мин / HR, beats/min
Контроль / Control	–	6	405 ± 21	369 ± 49
Пропранолол / Propranolol	5,0	6	578 ± 37* (p = 0,032)	386 ± 44
ЛХТ-N102 / LHT-N102	4,0	6	663 ± 40* (p = 0,029)	333 ± 29

* – различия при сравнении с контролем достоверны (сравнение кривых выживаемости с помощью критерия Гехана с поправкой Йейлтса) / * – The differences in comparison with the control are significant (comparison of survival curves using a Gehan's criterion with Yeylts amendment)

Т а б л и ц а 3

Table 3

Антигипоксическая активность соединения ЛХТ-N102 в условиях острой гипоксии с гиперкапнией

Anti-hypoxic activity of LHT-N102 under conditions of acute hyper carbonic hypoxia

Вещество / substance	Доза, мг/кг / Dose, mg/kg	Количество опытов / Number of experiments	Продолжительность жизни, мин / life expectancy, min	Появление одышки, мин / The appearance of dyspnea, min	Продолжительность терминальных судорог, с / The duration of terminal convulsions, sec
Контроль / Control	–	6	10,07 ± 1,2	2,9 ± 0,3	43 ± 2
Пропранолол / Propranolol	5,0	6	17,9 ± 2,6* (p = 0,017)	1,4 ± 0,6	88 ± 17
ЛХТ-N102 / LHT-N102	4,0	6	19,8 ± 1,7* (p = 0,006)	5,4 ± 0,4 ^a (p = 0,0007)	34 ± 3 ^a

* – различия при сравнении с контролем достоверны (сравнение кривых выживаемости с помощью критерия Гехана с поправкой Йейлтса); ^a – различия при сравнении с группой контроля достоверны (одномерный дисперсионный анализ, критерий Ньюмена-Кейлса) / * – the differences in comparison with the control are significant (comparison of survival curves using a Gehan's criterion with Yeylts amendment); ^a – differences when compared with the control group are significant (univariate ANOVA, Newman-Keyls criterion)



Обсуждение и заключения

В результате исследования было установлено, что соединение L-глутаминат (RS) 4-нитро-N-[1-фенил-5-(диэтиламино)пентил] бензамида обладает антиишемическим действием, проявляющимся в сокращении объема гибнущего миокарда на фоне окклюзионного нарушения коронарного кровотока. Рассуждая о возможных механизмах развития данного эффекта, следует подчеркнуть, что в его основе может лежать коронародилатирующая активность вещества, доказанная в эксперименте *in vitro* на изолированном сердце крысы. Однако было бы не совсем верным объяснять упомянутый эффект на коронароокклюзионной модели только сосудорасширяющими свойствами вещества ЛХТ-Н102 в виду механической природы редукции кровотока на данной модели.

В связи с этим более убедительными являются результаты, полученные на гипоксической и асфиктической моделях. В частности, согласно литературным данным [2–4; 12] в условиях прекращения легочной оксигенации назначение «чистых» коронаролитиков или не оказывает влияния на длительность сохранения сердечной деятельности, или сокращает ее. В данном случае профилактическое введение соединения ЛХТ-Н102 в изотоксической дозе сопровождалось удлинением периода как жизни животных, так и биоэлектрической активности сердца. Подобные результаты позволяют сделать закономерный вывод о способности L-глутаминового производного рацемата нибентана оптимизировать метаболизм клеток миокарда и повышать его резистентность к повреждающему действию ишемии и гипоксии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Safari F., Hajzadeh S., Shekarforoush S. et al. Effects of pretreatment with non-hypotensive dose of ramipril and losartan on myocardial ischemia-reperfusion induced arrhythmias and infarct size in rats / F. Safari [et al.] // *Physiol. And Pharmacol.* 2011. Vol. 15, No. 1. P. 116–123. URL: http://www.phypha.ir/ppj/files/site1/user_files_d87f0d/cardio-A-10-494-1-3cd1795.pdf.
2. Галенко-Ярошевский П. А., Гацура В. В. Экспериментальные аспекты оптимизации фармакотерапии острой ишемии миокарда. М. : Медицина, 2000. С. 260–264. URL: <http://www.medlit.ru/books/188>.
3. Гацура В. В., Иматдиева Р. М. Влияние цитохрома с на зону некроза при транзиторной ишемии миокарда. Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 1994. Т. 113, № 4. С. 439–441. URL: <http://www.fesmu.ru/elib/Article.aspx?id=8144>.
4. Some biochemical aspects of the protective effect of trimetazidine on rat cardiomyocytes during hypoxia and reoxygenation / E. Fantini [et al.] // *J. Mol. Cell. Cardiol.* 1994. Vol. 26. P. 949–958. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022282884711163>.
5. The protective role of hydrogen sulfide in myocardial ischemia-reperfusion-induced injury in diabetic rats / Y. Gao [et al.] // *Int. J. Cardiol.* 2011. Vol. 152, No. 2. P. 177–183. URL: <http://www.sciencedirect.com/catalog/papers/21316771>.
6. Антиишемическая активность нового отечественного антигипоксанта – производного 3-гидроксипиридина этоксида / Д. С. Блинов [и др.] // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2011. Т. 152, № 11. С. 514–517. URL: <http://www.iran.ru/journal/bebm/2011/bbm1111.htm>.
7. Mitochondrial targeted antioxidant Peptide ameliorates hypertensive cardiomyopathy / D. F. Dai [et al.] // *J. Am. Coll. Cardiol.* 2011. Vol. 58. P. 73–82. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21620606>.
8. Антиаритмическая активность нового аминокислотосодержащего соединения нибентана / Е. В. Блинова [и др.] // Вестник аритмологии. 2014. № 77. С. 53–56. URL: http://www.vestiar.ru/imgs/1/vestiar_77.pdf.

9. Гуськова Т. А. Токсикология лекарственных средств. М. : ИД «Русский врач», 2003. 154 с. URL: <http://www.twirpx.com/file/873030>.
10. Сернов Л. Н., Гацура В. В. Дифференциальный индикаторный метод определения размеров зоны некроза и ишемии при экспериментальном инфаркте миокарда у крыс. Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 1989. Т. 108, № 5. С. 534–535.
11. Чичканов Г. Г., Цорин И. Б. Методические рекомендации по изучению противоишемического (антиангинального) действия лекарственных средств // Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств / Под ред. А. Н. Миронова. М., 2012. С. 692–722. URL: http://www.academia.edu/15072648/Миронов_А.Н._и_др._Руководство_по_проведению_доклинических_исследований_ЛС.
12. Intra-cardiac remote ischemic post-conditioning attenuates ischemia-reperfusion injury in rats / J. Fang [et al.] // Scand. Cardiovas. J. 2009. Vol. 43 (6). P. 386–394. URL: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14017430902866681>.

Поступила 15.04.2016; принята к публикации 16.05.2016; опубликована онлайн 30.09.2016

Об авторах:

Блинова Екатерина Валериевна, профессор кафедры факультетской хирургии Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68), доктор медицинских наук, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0050-0251>, pyrk@yandex.ru

Мелешкин Александр Иванович, соискатель кафедры факультетской хирургии Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3538-2091>, pyrk@yandex.ru

Яхья Мухаммед Хасан Салам, аспирант кафедры факультетской хирургии Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3880-0276>, pyrk@yandex.ru

Василькина Ольга Владимировна, аспирант кафедры факультетской хирургии Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0881-8002>, pyrk@yandex.ru

Ковышкин Андрей Григорьевич, соискатель кафедры факультетской хирургии Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6247-2252>, pyrk@yandex.ru

Абросимов Алексей Владимирович, студент Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6539-5363>, pyrk@yandex.ru

Курганов Николай Александрович, аспирант кафедры факультетской хирургии Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1590-4438>, pyrk@yandex.ru

Елизарова Юлия Николаевна, аспирант кафедры факультетской хирургии Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4764-2177>, elizarova.julija1981@yandex.ru

Блинов Дмитрий Сергеевич, руководитель Центра перспективных исследований инновационных лекарственных средств ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68), доктор медицинских наук, профессор, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8385-4356>, blinov-pharm@yandex.ru

Вклад соавторов: Д. С. Блинову принадлежит идея проведения настоящего исследования и реферирование литературы; Е. В. Блинова осуществляла организацию постановки экспериментов, анализировала полученные результаты, готовила рукопись статьи; М. Х. С. Яхья, О. В. Василькина и Ю. Н. Елизарова изучали антиишемическую активность вещества; А. И. Мелешкин и А. Г. Ковышкин исследовали антигипоксическое действие и участвовали в постановке опытов на открытом



сердце; А. В. Абросимов осуществлял обработку полученных результатов, готовил рукопись к публикации. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Safari F, Hajizadeh S, Shekarforoush S, et al. Effects of pretreatment with non hypotensive dose of ramipril and losartan on myocardial ischemia-reperfusion induced arrhythmias and infarct size in rats. *Physiol. And Pharmacol.* 2011; 1(15):116-123. Available from: http://www.phypha.ir/ppj/files/site1/user_files_d87f0d/cardio-A-10-494-1-3cd1795.pdf
2. Galenko-Yaroshevskiy PA, Gatsura VV. Eksperimentalnyye aspekty optimizatsii farmakoterapii ostroy ishemii miokarda [Experimental aspects of optimization of drug therapy of acute myocardial ischemia]. Moscow: Medicine Publ.; 2000. Available from: <http://www.medlit.ru/books/188>. (In Russ.)
3. Gatsura VV, Imatdieva RM. Vliyaniye tsitokhroma S na zonu nekroza pri tranzitornoy ishemii miokarda [The effect of cytochrome c on necrotic zone during transient myocardial ischemia]. *Byulleten eksperimentalnoy biologii i meditsiny* = Bulletin of Experimental Biology and Medicine. 1994; (4)113:439-441. Available from: <http://www.fesmu.ru/elib/Article.aspx?id=8144>. (In Russ.)
4. Fantini E, Demaison L, Sentex E, et al. Some biochemical aspects of the protective effect of trimetazidine on rat cardiomyocytes during hypoxia and reoxygenation. *J. Mol. Cell. Cardiol.* 1994; 26:949-958. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022282884711163>
5. Gao Y, Yao X, Zhang Y. et al. The protective role of hydrogen sulfide in myocardial ischemia-reperfusion-induced injury in diabetic rats. *Int. J. Cardiol.* 2011; 2(152):177-183. Available from: <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/papers/21316771>.
6. Blinov DS, Sernov LN, Balashov VP, et al. Antiishemicheskaya aktivnost novogo otechestvennogo antioksidanta - proizvodnogo 3-gidroksipiridina etoksidola [Anti-ischemic activity of new domestic anti-hypoxant - a derivative of 3-hydroxypyridine ethoxydol]. *Byulleten eksperimentalnoy biologii i meditsiny* = Bulletin of Experimental Biology and Medicine. 2011; 11(152):514-517. Available from: <http://www.iramn.ru/journal/bebm/2011/bbm1111.htm>. (In Russ.)
7. Dai DF, Chen T, Szeto H, et al. Mitochondrial targeted antioxidant Peptide ameliorates hypertensive cardiomyopathy. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2011; 58:73-82. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21620606>.
8. Blinova YeV, Skachilova SYa, Blinov DS, et al. Antiaritmicheskaya aktivnost novogo aminokislotosoderzhashchego soyedineniya nibentana [The antiarrhythmic activity of the new compound of nibentan]. *Vestnik aritmologii* = Bulletin of Arrhythmology. 2014; 77:53-56. Available from: http://www.vestar.ru/imgs/1/vestar_77.pdf. (In Russ.)
9. Guskova TA. Toksikologiya lekarstvennykh sredstv [Toxicology of drugs]. Moscow: Russkiy vrach Publ.; 2003. Available from: <http://www.twirpx.com/file/873030>. (In Russ.)
10. Sernov LN, Gatsura VV. Differentsialnyy indikatornyy metod opredeleniya razmerov zony nekroza i ishemii pri eksperimentalnom infarkte miokarda u krysa [The differential indicator method for determining the size of necrosis and ischemia zones in experimental myocardial infarction in rats]. *Byulleten eksperimentalnoy biologii i meditsiny* = Bulletin of Experimental Biology and Medicine. 1989; 5(108): 534-535. (In Russ.)
11. Chichkanov GG, Tsorin IB. Metodicheskiye rekomendatsii po izucheniyu protivoishemicheskogo (antianginalnogo) deystviya lekarstvennykh sredstv [Guidelines for the study of anti-ischemic (antianginal) effects of drugs]. In: Guidelines for preclinical studies of drugs. 2012:692-722. Available from: http://www.academia.edu/15072648/Миронов_А.Н._и_др._Руководство_по_проведению_доклинических_исследований_ЛС. (In Russ.)
12. Fang J, Chen L, Wu L, Li W. Intra-cardiac remote ischemic post-conditioning attenuates ischemia-reperfusion injury in rats. *Scand. Cardiovas. J.* 2009; 43(6):386-394. Available from: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14017430902866681>.

Submitted 15.04.2016; accepted 16.05.2016; published online 30.09.2016

About the authors:

Yekaterina V. Blinova, professor of Faculty Surgery chair, Medical Institute, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St, Saransk, Russia), Dr.Sci. (Medicine), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0050-0251>**, pyrk@yandex.ru

Aleksandr A. Meleshkin, Ph.D. candidate of Faculty Surgery chair, Medical Institute, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St, Saransk, Russia), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3538-2091>**, pyrk@yandex.ru

Mukhammed Khasan Salam Yakhya, post-graduate student of Faculty Surgery chair Medical Institute, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St, Saransk, Russia), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3880-0276>**, pyrk@yandex.ru

Olga V. Vasilkina, post-graduate student of Faculty Surgery chair, Medical Institute, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St, Saransk, Russia), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0881-8002>**, pyrk@yandex.ru

Aleksey V. Abrosimov, student of Medical Institute, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St, Saransk, Russia), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6539-5363>**, pyrk@yandex.ru

Andrey G. Kovyshkin, Ph.D. candidate of Faculty Surgery chair, Medical Institute, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St, Saransk, Russia), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6247-2252>**, pyrk@yandex.ru

Nikolay A. Kurganov, post-graduate student of Faculty Surgery chair, Medical Institute, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St, Saransk, Russia), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1590-4438>**, pyrk@yandex.ru

Yuliya N. Yelizarova, post-graduate student of the Out-Patient Therapy chair, Medical Institute, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St, Saransk, Russia), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4764-2177>**, elizarova.julija1981@yandex.ru

Dmitriy S. Blinov, director of the Center for Advanced Study of innovative medicines, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St, Saransk, Russia), Dr.Sci. (Medicine), professor, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8385-4356>**, blinov-pharm@yandex.ru

The contribution of the authors: The idea of this study and literature referencing belong to D. S. Blinov; Ye. V. Blinova carried out the experiments, analyzed the results, and preparing the manuscript; M. H. Yahya, O. V. Vasilkina and Yu. N. Yelizarova studied the anti-ischemic activity of the substance; A. I. Meleshkin and A. G. Kovyshkin investigated the anti-hypoxic action and participated in the formulation of the experiments in the open heart; A. V. Abrosimov carried out processing of the results, preparing the manuscript for publication. All authors have read and approved the final manuscript.



КОРРЕКЦИЯ НАРУШЕНИЙ МЕТАБОЛИЗМА СУСТАВНОГО ХРЯЩА И МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНУТРИСУСТАВНОЙ ОЗОНОТЕРАПИИ ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ПОСТТРАВМАТИЧЕСКОМ АРТРИТЕ

А. Н. Захватов, А. Н. Беляев, С. И. Кузнецов, Н. А. Аткина
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)

Введение. Повреждение коленного сустава занимает одно из первых мест среди травм опорно-двигательного аппарата, составляя по разным источникам от 4,9 % до 24,0 % всех случаев травм и от 40 % до 50 % – среди повреждений суставов [1–3]. По данным Берглезова М. А. [1] и Насоновой В. А. [4], остеоартрозом крупных суставов страдает от 48 до 67,5 % трудоспособного (лица среднего и молодого возраста) населения России, причем 64–80% случаев имеет посттравматический характер. Таким образом, очевидна актуальность разработки современных методов диагностики, лечения травм коленного сустава и профилактики последующего прогрессирования посттравматического гонартроза.

Цель исследования – изучить влияние внутрисуставной озонотерапии на некоторые показатели обмена коллагена и морфологические изменения тканей сустава при экспериментальном посттравматическом артрите.

Материалы и методы. В ходе эксперимента на 132 белых нелинейных крысах было определено содержание фракций оксипролина в сыворотке крови и проведено морфологическое исследование суставного хряща, синовиальной оболочки и субхондрального слоя кости на фоне применения нимесулида, внутрисуставной озонотерапии и их комбинации.

Результаты исследования. Комбинированное применение нимесулида и внутрисуставной озонотерапии при травматическом повреждении коленного сустава в большей степени способствует уменьшению альтерации коллагеновых элементов экстрацеллюлярного матрикса хряща и коррекции синтетических процессов в обмене коллагена (снижение БСО и отношения ПСО/СО), что предупреждает процессы избыточного фибриллогенеза и склерозирования тканей поврежденного сустава. При гистологическом исследовании хрящ вне зоны поражения и синовиальная оболочка существенно не отличались от хряща интактных животных. Зональность структуры хрящевой ткани вне очага повреждения четко прослеживалась. Фибрилляция поверхностной и промежуточной зоны не наблюдалась. При исследовании субхондральной кости деструкции и склероза костных балок обнаружено не было.

Обсуждение и заключения. Экспериментальным путем было установлено, что сочетанное применение нимесулида и внутрисуставной озонотерапии при посттравматическом артрите препятствует развитию деструктивно-дистрофических изменений сустава, уменьшая биодеструкцию коллагеновых волокон и блокируя избыточную пролиферацию соединительной ткани, а также способствует регенерации дефекта.

Ключевые слова: посттравматический артрит, оксипролин, коллаген, нимесулид, внутрисуставная озонотерапия

Для цитирования: Коррекция нарушений метаболизма суставного хряща и морфологическая оценка эффективности внутрисуставной озонотерапии при экспериментальном посттравматическом артрите / А. Н. Захватов [и др.] // Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 3. С. 359–369. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201603.359-369

CORRECTION OF METABOLIC DISORDERS OF THE ARTICULAR CARTILAGE AND MORPHOLOGICAL EVALUATION OF INTRA-OZONE THERAPY IN EXPERIMENTAL POST-TRAUMATIC ARTHRITIS

A. N. Zakhvatov, A. N. Belyayev, S. I. Kuznetsov, N. A. Atkina
National Research Mordovia State University (Saransk, Russia)

Introduction. Currently, increased medical and social significance of the problem of traumatic injuries of the knee joint. High prevalence, social losses due to temporary disability at a substantial cost of treatment and the risk of subsequent development of post-traumatic arthrosis, arthritis due to lack of pathogenetic approach to the conservative treatment of post-traumatic disorders in the joints make it extremely urgent the development of modern methods of diagnosis and treatment of knee joint injuries and prevent further progression of posttraumatic gonarthrosis.

Materials and Methods. In the experiment on 132 white non-linear rats studied the content of hydroxyproline fractions in serum and morphological investigation of the articular cartilage, synovial membrane and subchondral bone layer during treatment with nimesulide, intra-articular ozone therapy, and combinations therapy.

Results. The combined use of nimesulide and intra-ozone therapy in traumatic injury of the knee to a greater extent reduces alterations of collagen components of the extracellular matrix of cartilage and correction of synthetic processes in the metabolism of collagen, which prevents the processes of excessive fibrillogenesis and sclerosis of tissues damaged joint. Histological examination of the cartilage is affected areas and synovium were not significantly different from the cartilage of intact animals. The zoning of the structure of cartilage lesion is clearly discernible. Fibrillation of the surface and the intermediate zone was observed. In the study of subchondral bone degradation and bone sclerosis beams were found.

Discussion and Conclusions. It was found that the combinations therapy of nimesulide and intra-ozone therapy in post-traumatic arthritis in the experiment prevents of destructive and degenerative changes in the joint, reducing biodegradation of the collagen fibers and blocking excessive proliferation of connective tissue and so promotes regeneration of the defect.

Keywords: post-traumatic arthritis, hydroxyproline, collagen, nimesulide, intraarticular ozone therapy

For citation: Zakhvatov AN, Belyayev AN, Kuznetsov SI, Atkina NA. Correction of metabolic disorders of the articular cartilage and morphological evaluation of intra-ozone therapy in experimental post-traumatic arthritis. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2016; 3(26):359-369. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201603.359-369

Введение

В настоящее время проблема травматических повреждений крупных суставов является актуальной, несмотря на разнообразие современных методов лечения [5–6]. Обеспокоенность данной проблемой объясняется тем, что в отдаленные сроки после травм суставов у 92 % больных имеется рентгенологическая картина деформирующего остеоартроза, приводяще-

го к стойкой утрате нетрудоспособности [7–8].

В состав гиалинового хряща входят клетки – хондроциты и хондробласты, а также межклеточное вещество, которое представлено белково-полисахаридными комплексами и коллагеновыми волокнами [2; 9–12]. Известно, что травматическое повреждение сустава, сопровождающееся кровоизлиянием в его полость, в ранние хро-



ки приводит к возникновению внутри- и внесуставных изменений и в первую очередь – развитию синовита. Хронизация экссудативного процесса является одной из основных причин формирования вторичных пролиферативных и дегенеративно-дистрофических изменений [6; 11; 13].

Воспалительный процесс в суставе приводит к дисбалансу между катаболическими и анаболическими реакциями, протекающими в хрящевой ткани, в сторону увеличения активности распада коллагена и протеогликанов межклеточного матрикса. Их фрагменты попадают в синовиальную жидкость и усиливают воспалительную реакцию, в условиях которой наблюдается нарушение белоксинтезирующей функции хондроцитов, в результате чего ими образуется короткоцепочечный нефибриллярный коллаген [14–15]. Оксипролин является специфической аминокислотой коллагена, поэтому может использоваться в качестве маркера его метаболизма [10; 16–19].

При развитии посттравматического артрита (ПА) наблюдается увеличение содержания оксипролина в сыворотке крови за счет его свободной (СО) и пептидосвязанной (ПСО) фракции [9; 20–21]. Синтез коллагена, напротив, характеризуется увеличением фракции белковосвязанного оксипролина (БСО). В настоящее время важную роль в патогенезе посттравматического остеоартроза отводится активации процессов перекисного окисления липидов, продукты которых усугубляют деструкцию хондроцитов и межклеточного матрикса суставного хряща [3–4; 22–23]. При этом патогенетически обоснованный подход к профилактике посттравматического остеоартроза в настоящее время отсутствует.

Учитывая механизмы развития острого асептического ПА, наиболее целесообразным в комплексном лечении является применение локаль-

ной внутрисуставной озонотерапии, поскольку озон обладает широким спектром воздействия: анальгетическим, противовоспалительным, иммуномодулирующим; улучшает микроциркуляцию, оптимизирует про- и антиоксидантные системы, потенцируя действие других лекарственных препаратов [5; 16].

Цель исследования – изучить влияние внутрисуставной озонотерапии на некоторые показатели обмена коллагена и морфологические изменения тканей сустава при экспериментальном ПА.

Материалы и методы

Эксперименты были проведены на 132 белых нелинейных крысах обоего пола массой 180–200 г., содержащихся в стандартных условиях вивария ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва». Протокол экспериментов был составлен в соответствии с Конвенцией по защите животных, используемых в эксперименте и других научных целях (принятой Советом Европы в 1986 г.), с приказом МЗ РФ № 267 от 19.06.2003 «Об утверждении правил лабораторной практики»; он соответствует требованиям Хельсинкской декларации о гуманном отношении к животным (2000 г.), одобрен локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва».

Животные были разделены на 5 групп. Первую серию составили интактные животные в количестве 12 крыс. В контрольной (30 животных) и опытных группах под ингаляционным наркозом моделировали повреждение коленного сустава механическим путем в модификации Г. М. Дубровина [2]. Во II контрольной группе лечение не проводилось. Животным III группы (30 крыс), начиная со дня моделирования травмы, проводился курс лечения нимесулидом через зонд в среднетерапевтической дозе 2 мг/кг ежедневно в течение 10 дней. В IV группе (30 животных) проводилось

внутрисуставное введение озono-кислородной смеси в концентрации озона на выходе из аппарата 15 мг/л через день в количестве 5 сеансов. На животных V группы (30 крыс) изучалось комбинированное влияние нимулида в дозе 2 мг/кг и внутрисуставного введения озono-кислородной смеси в концентрации 15 мг/л по указанной выше схеме введения. Для исследования от животных получали периферическую кровь и поврежденные коленные (скакательные) суставы конечностей.

Оценку метаболизма коллагена проводили по содержанию СО, ПСО и БСО в сыворотке крови по методу П. Н. Шараева [24] (на данную методику оценки интенсивности деструктивных процессов в суставе нами был получен патент № 2463000 от 10.10.2012 г.). Гистологическим методом изучали морфологию суставного хряща, синовиальной оболочки и субхондрального слоя костной ткани. Серийные срезы окрашивались гематоксилином и эозином. Исследование было проведено с использованием светового биологического микроскопа «Numascope Advanced Led» (Германия).

Животных выводили из эксперимента на 28-е сутки. Статистическая обработка результатов исследований была проведена с помощью t-критерия Стьюдента. Изменения считали достоверными при $p < 0,05$ ($0,01$; $0,001$).

Результаты исследования

При исследовании сыворотки крови животных контрольной группы после моделирования травмы коленного сустава относительно интактной серии выявлено увеличение содержания

СО и БСО на 188,9 % и на 135,1 % соответственно; содержание ПСО выросло в 2,76 раза; коэффициент ПСО/СО повышался и составил $1,38 \pm 0,15$ усл. ед. ($p < 0,001$).

На фоне внутривенной нестероидной противовоспалительной терапии нимесулидом содержание СО в сыворотке крови было снижено на 20,5 %; ПСО – на 47,8 %; БСО – на 26,8 % по сравнению с соответствующими показателями в контрольной группы ($p_1 < 0,001$). Коэффициент ПСО/СО был равен $0,91 \pm 0,09$ усл. ед.

При внутрисуставном введении газообразной озono-кислородной смеси относительно данных контрольной серии наблюдалось снижение фракций оксипролина: уровень СО – на 25,0; концентрация ПСО – на 59,0%; БСО – на 39,4 % ($p_1 < 0,001$). Коэффициент ПСО/СО составил $0,76 \pm 0,05$ усл. ед.

При комбинированном применении нестероидной противовоспалительной терапии нимесулидом и внутрисуставной озонотерапии фракции оксипролина в сыворотке крови по сравнению с данными контрольной серии изменились следующим образом: СО снизился на 35,1%; ПСО – на 66,4 %; БСО – на 47,8 %; коэффициент ПСО/СО – на 47,8 % ($p_1 < 0,001$) (таблица).

При макроскопической оценке гиалиновый хрящ коленного сустава интактных животных имел беловатозеленую окраску, гладкую, блестящую поверхность и упругую структуру. Микроскопически гиалиновый хрящ эпифиза бедренной кости крысы имел сходство с человеческим, в нем выделялись 3 зоны: поверхностная, средняя (промежуточная) и глубокая.



**Динамика некоторых показателей обмена коллагена при экспериментальном
посттравматическом артрите на фоне комбинированного применения
нимесулида и озона, 28-е сутки ($M \pm m$)**

**Dynamics of some indicators of collagen metabolism in experimental post-traumatic arthritis
by combination of nimesulide and ozone, 28 day ($M \pm m$)**

Показатель / Index	Интактные животные (n = 12) / Intact animals (n = 12)	Контрольная группа (n = 30) / Control group (n = 30)	НПВС (n = 30) / NSAID (n = 30)	В/с озон (n = 30) / Ozone (n = 30)	НПВС + в/с озон (n = 30) / NSAID + ozone (n = 30)
CO, мкмоль/л / FO, mmole/l	$13,74 \pm 0,51$	$28,31 \pm 0,94$ ($p < 0,001$)	$22,51 \pm 0,52$ ($p < 0,001$; $p_1 < 0,001$)	$21,23 \pm 0,45$ ($p < 0,001$; $p_1 < 0,001$)	$21,23 \pm 0,45$ ($p < 0,001$; $p_1 < 0,001$)
ПСО, мкмоль/л / PBO, mmole/l	$7,42 \pm 0,42$	$39,36 \pm 1,43$ ($p < 0,001$)	$20,53 \pm 1,07$ ($p < 0,001$; $p_1 < 0,001$)	$16,13 \pm 1,22$ ($p < 0,001$; $p_1 < 0,01$)	$16,13 \pm 1,22$ ($p < 0,001$; $p_1 < 0,01$)
БСО, мкмоль/л / PBH, mmole/l	$51,26 \pm 0,89$	$123,93 \pm 1,89$ ($p < 0,001$)	$91,76 \pm 1,20$ ($p < 0,001$; $p_1 < 0,001$)	$75,19 \pm 1,13$ ($p < 0,001$; $p_1 < 0,001$)	$75,19 \pm 1,13$ ($p < 0,001$; $p_1 < 0,001$)
ПСО/CO, усл. ед. / PBO/FO, mmole/l	$0,54 \pm 0,02$	$1,38 \pm 0,15$ ($p < 0,001$)	$0,91 \pm 0,09$ ($p < 0,01$; $p_1 < 0,05$)	$0,76 \pm 0,05$ ($p < 0,001$; $p_1 < 0,001$)	$0,76 \pm 0,05$ ($p < 0,001$; $p_1 < 0,001$)

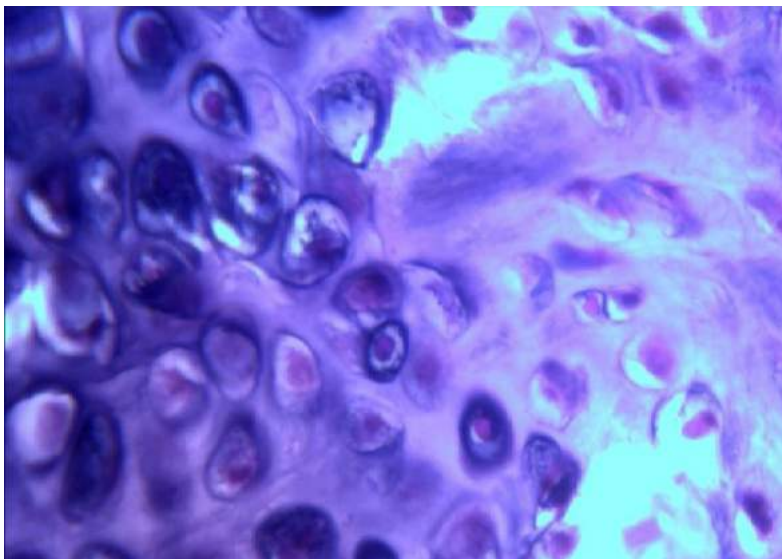
Примечания: p – достоверность отличий к данным интактных животных; p_1 – достоверность отличий к данным контрольной группы / Note: p – reliability of differences in the data intact animals; p_1 – significance of differences in the control group

При визуальной оценке у крыс контрольной серии в области коленного сустава наблюдался отек, стойкая сгибательная контрактура; при передвижении животные хромали и щадили травмированную конечность. Макроскопическое исследование суставной поверхности бедренной кости выявило в области медиального мыщелка дефект в виде углубления с нечеткими границами. Поверхность хряща имела желтовато-белую окраску без характерного блеска.

При световой микроскопии определялось нарушение цитоархитектоники хрящевой ткани, распространяющееся далеко от экспериментально нанесенной травмы. Отмечалось разволокнение поверхностной зоны и образо-

вание узур, уменьшение количества клеточных элементов в лакунах и их дегенеративные изменения. В субхондральной кости обнаруживались признаки остеосклероза. Толщина суставного хряща была значительно ниже, чем у интактных животных, с одновременным сокращением численной плотности функционально активных хондроцитов, что способствовало дезорганизации коллагеновых фибрилл и формированию фиброзного хряща (рис. 1).

Деструктивно-дистрофические изменения обнаруживались также в синовиальной оболочке: атрофия и фиброз стромы, склероз сосудов микроциркуляторного русла и очаговая инфильтрация лейкоцитами.



Р и с. 1. Гистологический препарат. Суставной хрящ коленного сустава крысы. Группа контрольная. (Посттравматический артрит). Увеличение 10х40. Окраска гематоксилином и эозином.

F i g 1. Histological preparation. Articular cartilage of rat knee joint. Group control. (Post-traumatic arthritis). Increased 10x40. Hematoxylin and eosin stain.

Суставы животных, получавших нимесулид, внешне были в удовлетворительном состоянии. Макроскопическое исследование выявило, что хрящ был тусклым, имел желтоватую окраску с участком организации в области травматического повреждения. При световой микроскопии были определены уменьшение количества хондроцитов поверхностной зоны, а также деструктивные изменения части клеточных элементов, деструкция межклеточного матрикса с образованием узур.

Аналогичные изменения наблюдались также в более глубоких слоях хрящевой ткани вплоть до субхондральной кости, где определялись признаки остеосклероза. Нарушение citoархитектоники распространялось за пределы экспериментальной травмы. С морфологической точки зрения, в синовиальной оболочке была обнаружена картина хронического посттравматического синовита – фиброз, умеренная лимфоцитарная инфильтрация стромы

и реактивные изменения синовиальных клеток.

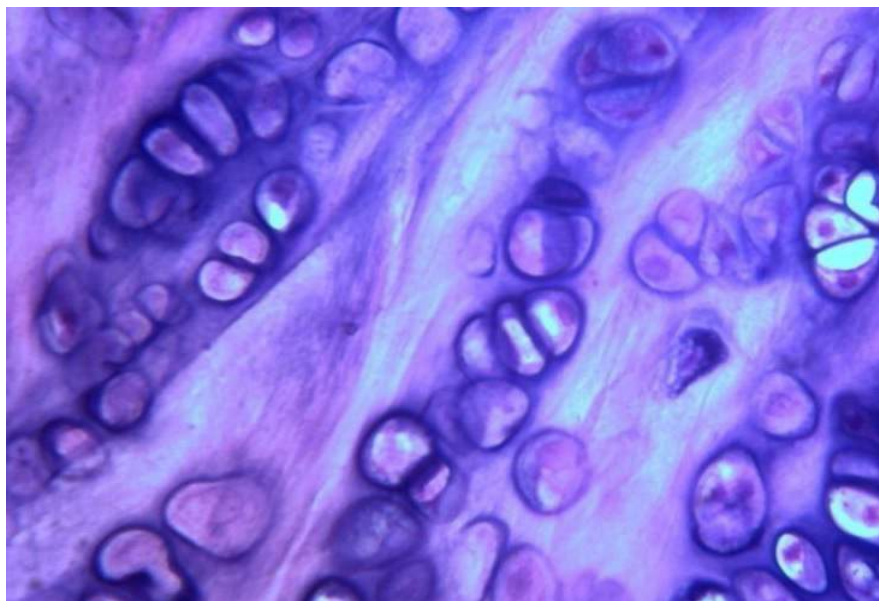
У животных, получавших озон внутрисуставным способом введения, внешний вид сустава мало отличался от здорового. Макроскопически суставной хрящ имел свойственные ему цвет и блеск, область дефекта была покрыта соединительнотканым регенератом. Деструктивные изменения хряща ограничивались незначительным числом трещин поверхностной зоны в смежных с дефектом областях. Склеротические изменения субхондральной кости затрагивали отдельные трабекулы в зоне повреждения. Морфологическая структура синовиальной оболочки характеризовалась незначительной степенью воспаления в виде периваскулярной лейкоцитарной инфильтрации.

Наиболее выраженная регрессия морфологических изменений по сравнению с контрольными данными наблюдалась при комбинации перорального применения нимесулида и внутри-



суставного введения озона. Отека в области коленного сустава не наблюдалось. Макроскопически участок хряща, соответствующий экспериментальной травме, отличался от другой локализации небольшим углублением и отсутствием типичного блеска. При гистологическом исследовании было выявлено, что сам дефект заполнен зрелой соединительной тканью, в которой определялось большое количество

хондроцитов. Зональность структуры хрящевой ткани вне очага повреждения четко прослеживалась. Фибрилляции поверхностной и промежуточной зоны не наблюдалось. При исследовании субхондральной кости деструкции и склероза костных балок обнаружено не было (рис. 4). В синовиальной оболочке при морфологическом изучении редкой находкой были периваскулярные инфильтраты.



Р и с. 2. Гистологический препарат. Суставной хрящ коленного сустава крысы (Посттравматический артрит). Группа с комбинированным применением нимесулида и внутрисуставным введением озона. Увеличение 10х40. Окраска гематоксилином и эозином.

F i g 2. Histological preparation. Articular cartilage of rat knee joint (Post-traumatic arthritis). Group with the combined use of nimesulide and intra-articular injection of ozone. Increased 10х40. Hematoxylin and eosin stain.

Обсуждение и заключения

Моделирование ПА коленного сустава приводит к дисбалансу метаболизма коллагена, характеризующегося значительным ростом всех фракций оксипролина, свидетельствующем о деструктивных процессах коллагена с одновременной высокой активностью неполноценного фибриллогенеза, приводящего к избыточному накоплению соединительной ткани с развитием склерозирования хряща и субхондральной кости.

Нестероидная противовоспалительная терапия, уменьшая воспаление, препятствовала деградации биополимеров соединительной ткани сустава, однако не ограничивала избыточные процессы фибриллогенеза, о чем свидетельствует высокий уровень БСО сыворотки на поздних стадиях экспериментального ПА.

Комбинированное применение нимесулида и внутрисуставной озонотерапии при травматическом повреждении

коленного сустава в большей степени способствует уменьшению альтерации коллагеновых элементов экстрацеллюлярного матрикса хряща и коррекции синтетических процессов в обмене коллагена (снижение БСО и ПСО/СО), в отличие от лечения нимесулидом и внутрисуставного введения озono-кислородной смеси в качестве монотерапии.

Данный эффект обусловлен воздействием препаратов на различные звенья патогенеза ПА: с одной стороны, нимесулид подавляет хемотаксис нейтрофилов и макрофагов в очаг воспаления, снижая синтез простагландинов и провоспалительных цитокинов. С другой, озон устраняет тканевую гипоксию, оказывает иммуномодулирующий, противовоспалительный эффект, модифицирующее действие на структурно-функциональное состояние клеточных мембран, усиливая метаболические процессы в клетках. Это пре-

дупреждает избыточный фибриллогенез и склерозирование тканей сустава.

Выявленные данные обосновывают комбинированное применение нестероидной противовоспалительной терапии и внутрисуставной озонотерапии, позволяющее в ранние сроки купировать воспалительный процесс в пораженном суставе, стимулировать заживление травматического дефекта и уменьшить развитие дегенеративно-дистрофических процессов.

Полученные результаты обуславливают необходимость дальнейшего проведения углубленных доклинических исследований и планирования клинических испытаний эффективности комбинированного применения нимесулида и внутрисуставной озонотерапии у больных с травматическими повреждениями коленного сустава с целью предупреждения прогрессирования ПА.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Берглезов М. А., Андреева Т. М. Остеоартроз: этиология, патогенез. Вестник травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова. 2006. № 4. С. 79–86.
2. Обоснование применения миелопида для профилактики посттравматического остеоартроза (экспериментальное исследование) / Г. М. Дубровин [и др.] // Вестник травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова. 2005. № 2. С. 60–62.
3. Шостак Н. А. Остеоартроз: актуальные вопросы диагностики и лечения. Русский медицинский журнал. 2014. № 4. С. 278–281. URL: http://www.rmj.ru/articles/aktualnaya_problema/Osteoartroz%3A_aktualnyye_voprosy_diagnostiki_i_lecheniya.
4. Насонова В. А. Остеоартроз коленного сустава: причины развития, диагностика и профилактика. Consiliummedicum. 2003. С. 90–96. URL: http://old.consilium-medicum.com/media/consilium/03_02/90.shtml.
5. Бархоткина Т. М., Томашевский Р. С. Метод оценки эффективности озонотерапии. Медицинский альманах. 2013. № 3. С. 31–32. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/metod-otsenki-effektivnosti-ozonoterapii>.
6. Бурьянов А. А. Структурно-функциональные изменения костной ткани при неспецифических воспалительных поражениях суставов. Боль: суставы: позвоночник. 2013. № 1. С. 87–88. URL: <http://www.mif-ua.com/archive/article/35770>.
7. Гришина Е. И., Бабинцев О. М., Шулика С. А. Провоспалительные цитокины у больных остеоартрозом с метаболическим синдромом. Травма. 2011. Т. 12, № 4. С. 113–117. URL: <http://www.mif-ua.com/archive/article/25645>.
8. Changes in serum and synovial fluid biomarkers after acute injury (NCT00332254) / J. B. Catterall [et al.] // Arthritis Research & Therapy. 2010. Vol. 12, No. 6. P. 229.
9. Зупанец И. А., Тюляков В. А., Шебеко С. К. Влияние комбинации глюкозамина гидрохлорида с парацетамолом на апоптоз хондроцитов в условиях развития системного стероидного артроза у крыс. Экспериментальная и клиническая фармакология. 2012. Т. 75, № 4. С. 34–37.
10. Корочина К. В., Полякова В. С., Корочина И. Э. Реорганизация структур коленных суставов крыс с хронической сердечной недостаточностью. Фундаментальные исследования. 2014.



№ 10. С. 1335–1340. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/reorganizatsiya-struktur-kolennyh-sustavov-krys-s-hronicheskoy-serdechnoy-nedostatochnostyu>.

11. Содержание АТФ и 2,3-ДФГ в эритроцитах при консервации и воздействии озона / В. Н. Крылов [и др.] // Биомедицина. 2014. № 2. С. 37–42. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/soderzhanie-atf-i-2-3-dfg-v-eritrotsitah-pri-konservatsii-i-vozdeystvii-ozona>.

12. Лечение локального глубокого дефекта хряща коленного сустава, сочетающегося с медиальным гонартрозом I стадии и варусной деформацией нижней конечности / Т. А. Куляба [и др.] // Травматология и ортопедия России. 2011. № 1. С. 92–95.

13. Биохимические изменения в синовиальной жидкости больных с остеоартрозом коленного сустава различной этиологии / Е. Л. Матвеева [и др.] // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. 2013. № 5. С. 60–63.

14. Роль интерлейкина-1В и интерлейкина-4В в патогенезе деформирующего артроза голеностопного сустава в разные сроки катамнестического периода наблюдения / А. О. Момбеков [и др.] // Фундаментальные исследования. 2013. № 9. С. 1073–1076.

15. Новочадов В. В., Гайфуллин Н. М., Фролов Д. М. Ремоделирование суставного хряща в условиях эндогенной интоксикации. Фундаментальные исследования. 2012. № 10. С. 271–275.

16. Перетягин П. В., Мартусевич А. К., Перетягин С. П. Экспериментальная оценка состояния микроциркуляции при системном введении озонированного физиологического раствора. Биорадикалы и антиоксиданты. 2015. Т. 2, № 1. С. 54–61. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnaya-otsenka-sostoyaniya-mikrotsirkulyatsii-pri-sistemnom-vvedenii-ozonirovannogo-fiziologicheskogo-rastvora>.

17. Самойлов В. В., Мироманов А. М., Самойлова С. И. Значение цитокинов в патогенезе остеоартроза. Забайкальский медицинский вестник. 2014. № 2. С. 119–125.

18. Ударцев Е. Ю. Морфогистохимические аспекты консервативного лечения больных с посттравматическим остеоартрозом крупных суставов нижних конечностей. Фундаментальные исследования. 2011. № 6. С. 182–187.

19. Федоров В. Г. Структурная единица «синовиальный сустав» и основные принципы лечения остеоартроза и других дегенеративных заболеваний синовиального сустава. Успехи современного естествознания. 2015. № 1. С. 594–600. URL: <http://www.natural-sciences.ru/ru/article/view?id=34862>.

20. Elvis A. M., Ekta J. S. Ozone therapy: a clinical review. Journal of Natural Science, Biology and Medicine. 2011. Vol. 2, No. 1. P. 66–70.

21. Human knee synovial fluid cytokines correlated with grade of knee osteoarthritis – a pilot study / C. T. Vangsness [et al.] // Bulletin of the NYU Hospital for Joint Diseases. 2011. Vol. 69, No. 2. P. 122–127.

22. К вопросу моделирования остеоартроза коленного сустава у собак для изучения патогенеза (экспериментально-морфологическое исследование) / В. И. Шевцов [и др.] // Гений ортопедии. 2012. № 1. С. 38–42.

23. Oxidative stress in secondary osteoarthritis: from cartilage destruction to clinical presentation / C. Ziskoven [et al.] // Orthopedic Reviews. 2010. Vol. 2, No. 2. P. 95–101.

24. Шараев П. Н. Методы исследования обмена коллагена в клинике // Актуальные проблемы теоретической и прикладной биохимии : мат-лы науч. конф. Ижевск, 2001. С. 150–153.

Поступила 06.04.2016; принята к публикации 27.05.2016; опубликована онлайн 30.09.2016

Об авторах:

Захватов Алексей Николаевич, доцент кафедры общей хирургии им. проф. Н. И. Атясова Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат медицинских наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1433-0337>**, zachvatan78@mail.ru

Беляев Александр Назарович, заведующий кафедрой общей хирургии им. проф. Н. И. Атясова Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), доктор медицинских наук, профессор, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0698-3007>**, belyaevan@mail.ru

Кузнецов Сергей Иванович, аспирант Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5279-7195>**, serg_schmidt@mail.ru

Fundamental medicine

Аткина Наталья Алексеевна, студентка Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-1329-7651>, na_atkina@mail.ru

REFERENCES

1. Berglezov MA, Andreyeva TM. Osteoartroz: etiologiya, patogenez [Osteoarthritis: etiology, pathogenesis]. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N. N. Priorova* = Priorov Reporter of Traumatology and Orthopedics. 2006; 4:79-86. (In Russ.)
2. Dubrovin GM, Blinkov YuA, Netyaga SV. Obosnovaniye primeneniya miyelopida dlya profilaktiki posttravmaticheskogo osteoartroza (eksperimentalnoye issledovaniye) [Rationale for mielopid for the prevention of post-traumatic osteoarthritis (experimental study)]. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N. N. Priorova* = Priorov Reporter of Traumatology and Orthopedics. 2005; 2:60-62. (In Russ.)
3. Shostak NA. Osteoartroz: aktualnyye voprosy diagnostiki i lecheniya [Osteoarthritis: Current problems in the diagnosis and treatment]. *Russkiy meditsinskiy zhurnal* = Russian Medical Journal. 2014; 4:278-281. Available from: http://www.rmj.ru/articles/aktualnaya_problema/Osteoartroz%3A_aktualnyye_voprosy_diagnostiki_i_lecheniya. (In Russ.)
4. Nasonova VA. Osteoartroz kolennogo sustava: prichiny razvitiya, diagnostika i profilaktika [Osteoarthritis of the knee: causes, diagnosis and prevention]. *Consiliummedicum*. 2003;90-96. Available from: http://old.consilium-medicum.com/media/consilium/03_02/90.shtml. (In Russ.)
5. Barkhotkina TM, Tomashevskiy RS. Metod otsenki effektivnosti ozonoterapii [Effectiveness evaluation method of ozone therapy]. *Meditsinskiy almanakh* = Medical almanac. 2013; 3:31-32. Available from: <http://cyberleninka.ru/article/n/metod-otsenki-effektivnosti-ozonoterapii>. (In Russ.)
6. Buryanov AA. Strukturno-funktsionalnyye izmeneniya kostnoy tkani pri nespetsificheskikh vospalitelnykh porazheniyakh sustavov [Structural and functional changes in bone tissue non-specific inflammatory lesions of the joints]. *Bol. Sustavy. Pozvonochnik* = Pain. Joints. Spine. 2013; 1:87-88. Available from: <http://www.mif-ua.com/archive/article/35770>. (In Russ.)
7. Grishina YeI, Babinets OM, Shulika SA. Provospalitelnyye tsitokiny u bolnykh osteoartrozom s metaboličeskim sindromom [Pro-inflammatory cytokines in patients with osteoarthritis of the metabolic syndrome]. *Travma* = Trauma. 2014; 4(12):113-117. Available from: <http://www.mif-ua.com/archive/article/25645>. (In Russ.)
8. Catterall JB, Stabler TV, Flannery CR, Kraus VB. Changes in serum and synovial fluid biomarkers after acute injury (NCT00332254). *Arthritis Research & Therapy*. 2010; 6(12):229.
9. Zupanets IA, Tulyakov VA, Shebeko SK. Effect of combination of glucosamine hydrochloride paracetamol on chondrocyte apoptosis in conditions of systemic steroid osteoarthritis in rats. *Eksperimentalnaya i klinicheskaya farmakologiya* = Experimental and Clinical Pharmacology. 2012; 4(75):34-37. (In Russ.)
10. Korochina KV, Polyakova VS, Korochina IYe. Reorganizatsiya struktur kolennykh sustavov kryz s khronicheskoy serdechnoy nedostatochnostyu [The reorganization of the structures of the knee joints of rats with chronic heart failure]. *Fundamentalnyye issledovaniya* = Fundamental Research. 2014; 10:1335-1340. Available from: <http://cyberleninka.ru/article/n/reorganizatsiya-struktur-kolennykh-sustavov-kryz-s-khronicheskoy-serdechnoy-nedostatochnostyu>. (In Russ.)
11. Krylov VN, Deryugina AV, Simutis IS. Soderzhaniye ATF i 2,3-DPG v eritrotsitakh pri konservatsii i vozdeystvii ozona. [The content of ATP and 2,3-DPG in erythrocytes at conservation and the effects of ozone]. *Biomeditsina* = Biomedicine. 2014; 2:37-42. Available from: <http://cyberleninka.ru/article/n/soderzhanie-atf-i-2-3-dfg-v-eritrotsitah-pri-konservatsii-i-vozdeystvii-ozona>. (In Russ.)
12. Kulyaba TA, et al. Lecheniye lokalnogo glubokogo defekta khryashcha kolennogo sustava, sochetayushchegosya s medialnym gonartrozom I stadii i varusnoy deformatsiey nizhney konechnosti [Treatment of deep local defects of the knee joint cartilage, combined with medial gonarthrosis stage 1 and varus deformity of the lower limb]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* = Traumatology and Orthopedics in Russia. 2011; 1:92-95. (In Russ.)
13. Matveyeva YeL, Spirkina YeS, Gasanova AG. Biokhimicheskiye izmeneniya v sinovialnoy zhidkosti bolnykh s osteoartrozom kolennogo sustava razlichnoy etiologii [Biochemical changes in the synovial fluid of patients with osteoarthritis of the knee joint of different etiology]. *Byulleten VSNTs SO RAMN* = VSNTs SO RAMN Bulletin. 2013; 5:60-63. (In Russ.)



14. Mombekov AO, Parfenov YuA, Dergunov AV. Rol interleykina-1B i interleykina-4V v patogeneze deformiruyushchego artroza golenostopnogo sustava v raznyye sroki katamnestichekogo perioda nablyudeniya [The role of interleukin-1. beta and interleukin-4B in the pathogenesis of deforming arthrosis of the ankle joint in different periods of follow-up period]. *Fundamentalnyye issledovaniya* = Fundamental Research. 2013; 9:1073-1076. (In Russ.)
15. Novochadov VV, Gayfullin NM, Frolov DM. Remodelirovaniye sustavnogo khryashcha v usloviyakh endogennoy intoksikatsii. *Fundamentalnyye issledovaniya* = Fundamental Research. 2012; 10:271-275. (In Russ.)
16. Peretyagin PV, Martusevich AK, Peretyagin SP. Eksperimentalnaya otsenka sostoyaniya mikrotsirkulyatsii pri sistemnom vvedenii ozonirovannogo fiziologicheskogo rastvora [Experimental evaluation of the state of microcirculation in systemic introduction of ozonated saline solution]. *Bioradikaly i antioksidanty* = Bioradicals and antioxidants. 2015; 1(2):54-61. Available from: <http://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnaya-otsenka-sostoyaniya-mikrotsirkulyatsii-pri-sistemnom-vvedenii-ozonirovannogo-fiziologicheskogo-rastvora>. (In Russ.)
17. Samoylov VV, Miromanov AM, Samoylova SI. Znacheniy tsitokinov v patogeneze osteoartroza. *Zabaykalskiy meditsinskiy vestnik* = Transbaikalian Medical Bulletin. 2014; 2:119-125. (In Russ.)
18. Udartsev YeYu. Morfogistokhimicheskiye aspekty konservativnogo lecheniya bolnykh s posttraumaticheskimi osteoartrozom krupnykh sustavov nizhnikh konechnostey [Morphological and histochemical aspects of conservative treatment of patients with post-traumatic osteoarthritis of the large joints of the lower limbs]. *Fundamentalnyye issledovaniya* = Fundamental Research. 2011; 6:182-187. (In Russ.)
19. Fedorov VG. Strukturnaya edinitsa "sinovialnyy sustav" i osnovnyye printsipy lecheniya osteoartroza i drugikh degenerativnykh zabolevaniy sinovialnogo sustava [Structural unit "synovial joint" and the basic principles of the treatment of osteoarthritis and other degenerative diseases of the synovial joint]. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya* = Advances in current natural sciences. 2015; 1:594-600. Available from: <http://www.natural-sciences.ru/ru/article/view?id=34862>. (In Russ.)
20. Elvis AM, Ekta JS. Ozone therapy: A clinical review. *Journal of Natural Science, Biology and Medicine*. 2011; 1(2):66-70.
21. Vangsness CT, Burke WS, Narvy SJ. et al. Human knee synovial fluid cytokines correlated with grade of knee osteoarthritis - a pilot study. *Bulletin of the NYU Hospital for Joint Diseases*. 2011; 2(69):122-127.
22. Shevtsov VI, Makushin VD, Stepanov MA, Stupina TA. K voprosu modelirovaniya osteoartroza kolennogo sustava u sobak dlya izucheniya patogeneza (eksperimentalno-morfologicheskoye issledovaniye) [On the issue of modeling of knee joint osteoarthritis in dogs to study the pathogenesis of (experimentally-morphological research)]. *Geniy ortopedii* = Genius of orthopedics. 2012; 1:38-42. (In Russ.)
23. Ziskoven C, Jäger M, Zilkens C, et al. Oxidative stress in secondary osteoarthritis: from cartilage destruction to clinical presentation. *Orthopedic Reviews*. 2010; 2(2):95-101.
24. Sharayev PN. Metody issledovaniya obmena kollagena v klinike [Methods of research of collagen metabolism in the clinic]. In: Aktualnyye problemy teoreticheskoy i prikladnoy biokhimii: mat-ly nauch. konf. [Actual problems of theoretical and applied biochemistry: conference materials]. Izhevsk; 2001:150-153. (In Russ.)

Submitted 06.04.2016; accepted 27.05.2016; published online 30.09.2016

About the authors:

Aleksey N. Zakhvatov, docent of Atyasov General Surgery chair, Medical Institute, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St, Saransk, Russia), Ph.D. (Medicine), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-1433-0337>, zachvatan78@mail.ru

Aleksandr N. Belyayev, head of Atyasov General Surgery chair, Medical Institute, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St, Saransk, Russia), Dr.Sci. (Medicine), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-0698-3007>, belyaevan@mail.ru

Sergey I. Kuznetsov, post-graduate student, Medical Institute, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St, Saransk, Russia), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5279-7195>, serg_schmidt@mail.ru

Natalya A. Atkina, student of Medical Institute, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St, Saransk, Russia), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-1329-7651>, na_atkina@mail.ru

КЛИНИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА / CLINICAL MEDICINE

УДК 616.5:616-006

DOI: 10.15507/0236-2910.026.201603.370-380

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРОВИ ПРИ БАЗАЛЬНО-КЛЕТОЧНОМ РАКЕ КОЖИ В БЛИЖАЙШЕМ ПОСЛЕОПЕРАЦИОННОМ ПЕРИОДЕ

**В. В. Масляков, О. И. Дралина,
Ю. Б. Власенко, Л. М. Ким**

*Филиал частного учреждения образовательной организации
высшего образования «Медицинский университет “Реавиз”»
(г. Саратов, Россия)*

Введение. Базально-клеточный рак кожи относится к одному из самых распространенных онкологических процессов со своеобразным течением, которое характеризуется медленным ростом, редким возникновением метастазов в лимфоузлы и внутренние органы.

Материалы и методы. Изучение реологических свойств крови было проведено у 39 пациентов, возраст которых составил 65 ± 3 лет. Исследования проводились до оперативного лечения, в 1-е послеоперационные сутки, на 5-е, 7-е, 10-е послеоперационные сутки. Для сравнения были изучены показатели реологических свойств крови у 17 относительно здоровых добровольцев того же возраста и пола (группа сравнения 1) и 20 пациентов, оперированных по поводу фибромы кожи (группа сравнения 2). Возраст и пол пациентов из группы сравнения 2 совпал с основной группой, изучение показателей проводилось на те же сутки. Диагноз всех пациентов был подтвержден морфологически до проведения оперативного лечения. Изучение вязкости крови проводилось при помощи ротационного вискозиметра АКР-2 при скоростях сдвига 200, 100, 150, 50 и 20 с^{-1} .

Результаты исследования. У пациентов с базально-клеточным раком кожи до начала оперативного лечения отмечалось повышение показателей реологических свойств крови (индекс агрегации эритроцитов, индекс деформируемости эритроцитов, гематокрит и степень эффективности доставки кислорода к тканям) при всех скоростях сдвига. В 1-е послеоперационные сутки было выявлено значительное повышение реологических свойств крови при всех скоростях сдвига. Согласно результатам исследования, оперативное вмешательство при базально-клеточном раке кожи приводит к частичному восстановлению показателей вязкости крови при высоких скоростях сдвига.

Ключевые слова: базально-клеточный рак кожи, реологические свойства крови, ближайший послеоперационный период, показатели вязкости крови

Для цитирования: Реологические свойства крови при базально-клеточном раке кожи в ближайшем послеоперационном периоде / В. В. Масляков [и др.] // Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 3. С. 370–380. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201603.370-380

Благодарности: Авторский коллектив выражает благодарность коллективу журнала «Вестник Мордовского университета» за возможность публикации в журнале, редакторам и рецензентам.



THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF BLOOD UNDER BASAL CELL SKIN CANCER IN THE IMMEDIATE POSTOPERATIVE PERIOD

V. V. Maslyakov, O. I. Dralina, Yu. B. Vlasenko, L. M. Kim

Medical university "Reaviz" (Saratov, Russia)

Introduction. For the purpose of studying of changes of a cellular link of the immune status and rheological properties of blood at patients with a bazalno-cellular cancer of skin in the course of expeditious treatment 39 patients at the age of $65 \pm$ have been examined 3 years. Researches were conducted before expeditious treatment, in the first postoperative days, for the fifth, seventh, tenth postoperative days.

Materials and Methods. Changes of rheological properties of blood it has been carried out at 39 patients, the age of patients has made 65 ± 3 years. Researches were conducted before expeditious treatment, in the first postoperative days, for the fifth, seventh, tenth postoperative days. For comparison indicators of rheological properties of blood at 17 rather healthy volunteers of the same age and a floor are studied (group of comparison 1) and 20 patients operated concerning skin fibroma (group of comparison 2), the age and a sex of patients from group of comparison 2 has coincided with the main group, studying of indicators was carried out for the same days. The patient the diagnosis is confirmed to all morphologically before carrying out expeditious treatment. Studying of viscosity of blood was carried out by means of the rotational AKP-2 viscometer at shift speeds: 200; 100; 150; 50 and 20 with-1.

Results. It is established that at patients with bazalno-cellular prior to expeditious treatment increase of indicators of rheological properties of blood is noted at all speeds of shift, the index of aggregation of erythrocytes, an index of deformability of erythrocytes, gematokrit also degree of efficiency of delivery of oxygen to fabrics. In the first postoperative days substantial increase of rheological properties of blood will despair at all speeds of shift.

Discussion and Conclusions. Performance of surgery at a bazalno-cellular cancer of skin leads only to partial restoration of indicators of viscosity of blood at high speeds of shift.

Keywords: basal cell skin cancer, rheological properties of blood, immediate postoperative period, performance blood viscosity

For citation: Maslyakov VV, Dralina OI, Vlasenko YuB, Kim LM. The rheological properties of blood under basal cell skin cancer in the immediate postoperative period. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2016; 3(26):370-380. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201603.370-380

Acknowledgements: The authors express their gratitude to the editorial board of Mordovia University Bulletin for agreeing to undertake the publication of this article, and to reviewers.

Введение

Базально-клеточный рак кожи относится к одному из самых распространенных онкологических процессов со своеобразным течением, которое характеризуется медленным ростом, редким возникновением метастазов в лимфоузлы и внутренние органы. Несомненно, любое онкологическое заболевание приводит к определенным

изменениям микроциркуляции [1–3]. Патогенез гемостазиологических нарушений у больных злокачественными новообразованиями чрезвычайно сложен. Снижение активности антикоагулянтов может быть обусловлено несколькими причинами: сниженный синтез вследствие вовлечения в опухолевый процесс печени; потеря белка (энтеропатии или нефротический син-

дром); осложнения химиотерапии [4–9]. У больных раком чаще встречаются субклинические нарушения гемостаза, являющиеся только лабораторными.

Цель исследования – изучить изменения клеточного звена иммунного статуса и реологических свойств крови у пациентов с базально-клеточным раком кожи в процессе оперативного лечения.

Материалы и методы

Изучение реологических свойств крови было проведено у 39 пациентов, возраст которых составил 65 ± 3 лет. Исследования проводились до оперативного лечения, в 1-е послеоперационные сутки, на 5-е, 7-е, 10-е послеоперационные сутки. Для сравнения были изучены показатели реологических свойств крови у 17 относительно здоровых добровольцев того же возраста и пола (группа сравнения 1) и 20 пациентов, оперированных по поводу фибромы кожи (группа сравнения 2). Возраст и пол пациентов из группы сравнения 2 совпал с основной группой, изучение показателей проводилось на те же сутки. Диагноз всех пациентов был подтвержден морфологически до проведения оперативного лечения. Оперативное лечение выполнялось под местной анестезией, при раке проводилось широкое иссечение образования, при доброкачественных опухолях – иссечение образования. Наибольшее количество образований (25 %) было отмечено на нижних конечностях. По поводу образований на лице за медицинской помощью обратились 15 % пациентов.

Диагностика образований кожи основывалась на анализе жалоб, данных анамнеза и лабораторных исследований (наиболее часто использовались цитологическое исследование и биопсия кожи с обычной окраской гематоксилин-эозином).

Критерием включения было наличие онкологического процесса кожи, соответствующего T1-2N0M0; крите-

риями исключения – диссеминация процесса, наличие mts в лимфатических узлы и внутренние органы, проведение химио- и лучевой терапии.

Изучение вязкости крови проводилось при помощи ротационного вискозиметра АКР-2 при следующих скоростях сдвига: 200; 100; 150; 50 и 20 с^{-1} . С целью исследования реологических свойств крови был осуществлен забор крови в условиях стационара из кубитальной вены с добавлением 3,8%-ного раствора цитрата натрия в соотношении 9:1. Реологическое исследование проводилось не позднее 2,5 ч с момента взятия образца крови у больного. Образцы исследуемого материала в объеме 0,85 мл заливали в пластмассовую ячейку, инкубировали в термостате в течение 5 мин в специализированных ячейках анализатора, после чего в ячейку, заполненную кровью, опускали металлический цилиндр под углом 45° .

Основным критерием правильного заполнения измерительной камеры считали способность цилиндра свободно плавать в образце при отсутствии пузырей воздуха в зазоре между цилиндром и стенкой измерительной ячейки. Общее время исследования образца цельной крови не превышало 10–15 минут. Измерения проводились в условиях постоянной температуры 37°C в измерительной ячейке, что способствовало более точному исследованию. На основании полученных данных проводили определение индекса деформируемости (ИДЭ) и индекса агрегации эритроцитов (ИАЭ) [10].

Агрегация эритроцитов (образование линейных агрегатов – «монетных столбиков») – один из основных показателей вязкости крови, поэтому важно определить ее вклад в изменение вязкостных характеристик. ИАЭ рассчитывали как отношение величины вязкости крови, измеренной при 20 с^{-1} , к измеренной при 100 с^{-1} . Измерения



вязкости крови начинали с высоких скоростей сдвига (200 с^{-1}), затем переходили к низким (50 и 20 с^{-1}), что позволило представить неньютоновские свойства крови в сосудах различного диаметра – от магистральных до капилляров.

Деформируемость эритроцитов является одним из важнейших феноменов, позволяющих данным клеткам проходить через сосуды, диаметр которых соизмерим с размерами эритроцитов. ИДЭ рассчитывали как отношение величины вязкости крови, измеренной при скорости сдвига 100 с^{-1} , к измеренной при 200 с^{-1} . Гематокритный показатель определялся центрифугированием в капилляре стабилизированной гепарином крови [11]. Эффективность доставки кислорода к тканям определяли по величине отношения гемато-

критного числа к вязкости крови при 200 с^{-1} [Там же].

Полученные данные были обработаны методом вариационной статистики медико-биологического профиля. Обработка включала расчет медиан и верхних и нижних квартилей, а также определение достоверности различий (p) с использованием критерия Манна-Уитни для независимых групп и критерия Уилкоксона – для зависимых. Для этой цели в ходе исследования применяли персональный компьютер с пакетом прикладных программ «Statistica 6.0» и «Excel» («Microsoft», 2003).

Результаты исследования

Результаты вязкостных свойств крови у пациентов анализируемой группы, полученные до начала оперативного лечения, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Table 1

Реологические свойства крови у пациентов с базально-клеточным раком кожи и доброкачественными образованиями до начала оперативного лечения ($M \pm m$)

Rheological properties of blood at patients with a basalno-cellular cancer of skin and good-quality educations prior to expeditious treatment ($M \pm m$)

Скорость сдвига, с^{-1} / Share rate, с^{-1}	Показатели вязкости крови, $\text{мПа}\cdot\text{с}$ / Indicators of viscosity of blood, $\text{mPa}\cdot\text{s}$		
	Основная группа / The main group ($n = 39$)	Группа 1 / Group 1 ($n = 17$)	Группа 2 / Group 2 ($n = 20$)
200	$6,23 \pm 0,04^*$	$3,94 \pm 0,15$	$4,35 \pm 0,23$
150	$6,45 \pm 0,02^*$	$4,21 \pm 0,13$	$4,78 \pm 0,11$
100	$7,01 \pm 0,03^*$	$4,89 \pm 0,16$	$5,07 \pm 0,34$
50	$7,23 \pm 0,04^*$	$4,95 \pm 0,11$	$5,12 \pm 0,23$
20	$7,56 \pm 0,01^*$	$4,95 \pm 0,11$	$5,34 \pm 0,12$
ИАЭ, усл. ед. / Index of aggregation of erythrocytes, c. u.	$1,43 \pm 0,03^*$	$1,30 \pm 0,01$	$1,32 \pm 0,02$
ИДЭ, усл. ед. / Index of deform- ability of erythrocytes, c. u.	$1,09 \pm 0,02^*$	$1,08 \pm 0,01$	$1,08 \pm 0,04$
Гематокрит, % / Hematocrit, %	$52,34 \pm 0,03^*$	$41,51 \pm 2,52$	$41,64 \pm 1,23$
Степень эффективности достав- ки кислорода к тканям, усл. ед. / Degree of efficiency of delivery of oxygen to fabrics, c. u.	$25,60 \pm 0,10^*$	$10,00 \pm 0,18$	$11,20 \pm 0,30$

Из табл. 1 видно, что у пациентов с доброкачественными образованиями кожи до начала оперативного лечения отмечалось небольшое увеличение вязкостных свойств крови при всех скоростях сдвига. Однако данные показатели были статистически недостоверными ($p > 0,05$).

Остальные показатели (ИАЭ, ИДЭ, гематокрит и степень эф-

фективности доставки кислорода к тканям) существенно не отличались от данных, полученных в группе сравнения, которую составили относительно здоровые люди. В группе пациентов с базально-клеточным раком показатели реологических свойств крови были существенно и статистически достоверно повышены.

Таблица 2

Table 2

Реологические свойства крови у пациентов с базально-клеточным раком кожи и доброкачественными образованиями в 1-е сутки после проведения оперативного лечения ($M \pm m$)

Rheological properties of blood at patients with a bazalno-cellular cancer of skin and good-quality educations in the first days after carrying out expeditious treatment ($M \pm m$)

Скорость сдвига, c^{-1} / Share rate, c^{-1}	Показатели вязкости крови, мПа·с / Indicators of viscosity of blood, mPa·s		
	Основная группа / The main group (n = 39)	Группа 1 / Group 1 (n = 17)	Группа 2 / Group 2 (n = 20)
200	8,28 ± 0,04*	3,94 ± 0,15	5,75 ± 0,23*
150	9,46 ± 0,02*	4,21 ± 0,13	6,48 ± 0,11*
100	10,21 ± 0,03*	4,89 ± 0,16	7,37 ± 0,34*
50	10,27 ± 0,04*	4,95 ± 0,11	7,52 ± 0,23*
20	11,08 ± 0,01*	4,95 ± 0,11	7,64 ± 0,12*
ИАЭ, усл. ед. / Index of aggregation of erythrocytes, c. u.	1,53 ± 0,03*	1,30 ± 0,01	1,42 ± 0,02
ИДЭ, усл. ед. / Index of deformability of erythrocytes, c. u.	1,11 ± 0,02*	1,08 ± 0,01	1,09 ± 0,04
Гематокрит, % / Hematocrit, %	52,47 ± 0,03*	41,51 ± 2,52	41,64 ± 1,23
Степень эффективности доставки кислорода к тканям, усл. ед. / Degree of efficiency of delivery of oxygen to fabrics, c. u.	25,60 ± 0,10*	10,00 ± 0,18	11,20 ± 0,30



В ходе дальнейшего исследования было установлено, что в 1-е послеоперационные сутки у пациентов обеих групп отмечалось значительное повышение реологических свойств крови при всех скоростях сдвига, при этом показатели гематокрита и степени эффективности доставки кислорода к тканям существенно не отличались от данных до начала оперативного лечения (табл. 2). Данное повышение может быть реакцией на операционную травму и не носить специфического характера.

На 3-и послеоперационные сутки существенных изменений в показате-

лях реологических свойств крови у пациентов обеих анализируемых групп получено не было.

На 5-е послеоперационные сутки в группе пациентов, оперированных по поводу доброкачественных образований кожи, было выявлено частичное восстановление показателей вязкости крови, что проявилось в снижении показателей при скоростях сдвига 200 c^{-1} и 150 c^{-1} , которые стали соответствовать данным, полученным в группе сравнения. При этом показатели вязкости крови у пациентов с базально-клеточным раком кожи существенных изменений не претерпевали (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Table 3

Реологические свойства крови у пациентов с базально-клеточным раком кожи и доброкачественными образованиями на 5-е сутки после проведения оперативного лечения ($M \pm m$)

Rheological properties of blood at patients with a basalno-cellular cancer of skin and good-quality educations for the fifth days after carrying out expeditious treatment ($M \pm m$)

Скорость сдвига, c^{-1} / Share rate, c^{-1}	Показатели вязкости крови, $\text{мПа} \cdot \text{с}$ / Indicators of viscosity of blood, $\text{mPa} \cdot \text{s}$		
	Основная группа / The main group ($n = 39$)	Группа 1 / Group 1 ($n = 17$)	Группа 2 / Group 2 ($n = 20$)
200	$8,22 \pm 0,04^*$	$3,94 \pm 0,15$	$3,89 \pm 0,23$
150	$9,41 \pm 0,02^*$	$4,21 \pm 0,13$	$4,28 \pm 0,11$
100	$10,11 \pm 0,03^*$	$4,89 \pm 0,16$	$7,37 \pm 0,34^*$
50	$10,37 \pm 0,04^*$	$4,95 \pm 0,11$	$7,52 \pm 0,23^*$
20	$11,08 \pm 0,01^*$	$4,95 \pm 0,11$	$7,64 \pm 0,12^*$
ИАЭ, усл. ед. / Index of aggregation of erythrocytes, c. u.	$1,53 \pm 0,03^*$	$1,30 \pm 0,01$	$1,42 \pm 0,02$
ИДЭ, усл. ед. / Index of deformability of erythrocytes, c. u.	$1,11 \pm 0,02^*$	$1,08 \pm 0,01$	$1,09 \pm 0,04$
Гематокрит, % / Hematocrit, %	$52,47 \pm 0,03^*$	$41,51 \pm 2,52$	$41,64 \pm 1,23$
Степень эффективности доставки кислорода к тканям, усл. ед. / Degree of efficiency of delivery of oxygen to fabrics, c. u.	$25,60 \pm 0,10^*$	$10,00 \pm 0,18$	$11,20 \pm 0,30$

На 7-е послеоперационные сутки в группе пациентов с доброкачественными образованиями кожи было выявлено полное восстановление показателей реологических свойств крови при всех скоростях сдвига, которые стали соответствовать данным, полученным в группе относительно

здоровых людей; в группе пациентов с базально-клеточным раком – частичное снижение показателей реологических свойств крови при скоростях сдвига 200 c^{-1} и 150 c^{-1} , которые стали соответствовать данным, полученным до начала оперативного лечения (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Table 4

Реологические свойства крови у пациентов с базально-клеточным раком кожи и доброкачественными образованиями на 7-е сутки после проведения оперативного лечения ($M \pm m$)

Rheological properties of blood at patients with a bazalno-cellular cancer of skin and good-quality educations for the seventh days after carrying out expeditious treatment ($M \pm m$)

Скорость сдвига, c^{-1} / Share rate, c^{-1}	Показатели вязкости крови, $\text{мПа}\cdot\text{с}$ / Indicators of viscosity of blood, $\text{mPa}\cdot\text{s}$		
	Основная группа / The main group (n = 39)	Группа 1 / Group 1 (n = 17)	Группа 2 / Group 2 (n = 20)
200	$6,27 \pm 0,04^*$	$3,94 \pm 0,15$	$3,89 \pm 0,23$
150	$6,48 \pm 0,02^*$	$4,21 \pm 0,13$	$4,28 \pm 0,11$
100	$10,11 \pm 0,03^*$	$4,89 \pm 0,16$	$4,77 \pm 0,31$
50	$10,37 \pm 0,04^*$	$4,95 \pm 0,11$	$5,12 \pm 0,03$
20	$11,08 \pm 0,01^*$	$4,95 \pm 0,11$	$5,34 \pm 0,12$
ИАЭ, усл. ед. / Index of aggregation of erythrocytes, c. u.	$1,53 \pm 0,03^*$	$1,30 \pm 0,01$	$1,32 \pm 0,02$
ИДЭ, усл. ед. / Index of deformability of erythrocytes, c. u.	$1,11 \pm 0,02^*$	$1,08 \pm 0,01$	$1,09 \pm 0,04$
Гематокрит, % / Hematocrit, %	$52,47 \pm 0,03^*$	$41,51 \pm 2,52$	$41,64 \pm 1,23$
Степень эффективности доставки кислорода к тканям, усл. ед. / Degree of efficiency of delivery of oxygen to fabrics, c. u.	$25,60 \pm 0,10^*$	$10,00 \pm 0,18$	$11,20 \pm 0,30$

На 10-е сутки в группе пациентов с доброкачественными заболеваниями кожи изменений в показателях реологических свойств крови выявлено не было. В группе пациентов с базально-клеточным раком происходило частичное восстановление показателей вязкости кро-

ви, что проявлялось в их снижении до физиологически нормальных величин показателей при скоростях сдвига 200 c^{-1} и 150 c^{-1} . Остальные показатели снижались, но оставались повышенными по сравнению с данными, полученными в группе сравнения (табл. 5).



Реологические свойства крови у пациентов с базально-клеточным раком кожи и доброкачественными образованиями на 10-е сутки после проведения оперативного лечения ($M \pm m$)
Rheological properties of blood at patients with a bazalno-cellular cancer of skin and good-quality educations for the tenth days after carrying out expeditious treatment ($M \pm m$)

Скорость сдвига, c^{-1} / Share rate, c^{-1}	Показатели вязкости крови, $mPa \cdot c$ / Indicators of viscosity of blood, $mPa \cdot c$		
	Основная группа / The main group (n = 39)	Группа 1 / Group 1 (n = 17)	Группа 2 / Group 2 (n = 20)
200	$3,85 \pm 0,04$	$3,94 \pm 0,15$	$3,89 \pm 0,23$
150	$4,38 \pm 0,02$	$4,21 \pm 0,13$	$4,28 \pm 0,11$
100	$7,21 \pm 0,03^*$	$4,89 \pm 0,16$	$4,77 \pm 0,31$
50	$8,56 \pm 0,04^*$	$4,95 \pm 0,11$	$5,12 \pm 0,03$
20	$8,42 \pm 0,01^*$	$4,95 \pm 0,11$	$5,34 \pm 0,12$
ИАЭ, усл. ед. / Index of aggregation of erythrocytes, c. u.	$1,43 \pm 0,03^*$	$1,30 \pm 0,01$	$1,32 \pm 0,02$
ИДЭ, усл. ед. / Index of deformability of erythrocytes, c. u.	$1,11 \pm 0,02^*$	$1,08 \pm 0,01$	$1,09 \pm 0,04$
Гематокрит, % / Hematocrit, %	$52,47 \pm 0,03^*$	$41,51 \pm 2,52$	$41,64 \pm 1,23$
Степень эффективности доставки кислорода к тканям, усл. ед. / Degree of efficiency of delivery of oxygen to fabrics, c. u.	$25,60 \pm 0,10^*$	$10,00 \pm 0,18$	$11,20 \pm 0,30$

Обсуждение и заключения

В результате исследования было установлено, что у пациентов с базально-клеточным раком кожи до начала оперативного лечения отмечается повышение показателей реологических свойств крови при всех скоростях сдвига, ИАЭ, ИДЭ, гематокрита и степени эффективности доставки кислорода к тканям. Повышенная вязкость крови создает дополнительное сопротивление кровотоку и поэтому сопряжена с избыточной постнагрузкой сердца, микроциркуляторными расстройствами, тканевой гипоксией. Можно предположить, что увеличение показателей вязкости крови у пациен-

тов с данной патологией может приводить к развитию микротромбозов, что способствует прогрессированию онкологического процесса. При этом у пациентов с доброкачественными образованиями кожи все исследуемые показатели были повышены, но статистически достоверных величин при этом отмечено не было.

В 1-е послеоперационные сутки у пациентов обеих групп было отмечено значительное повышение реологических свойств крови при всех скоростях сдвига. При этом показатели гематокрита и степени эффективности доставки кислорода к тканям существенно не отличались от данных до

начала оперативного лечения. Данные изменения нельзя отнести к специфическим, поскольку они могут быть проявлением компенсаторной реакции на операционную травму.

В дальнейшем было установлено, что оперативное лечение приводит к коррекции показателей вязкости крови у пациентов с доброкачественными образованиями кожи, которые полностью восстанавливались на 7-е послеоперационные сутки и соответствовали нормальным физиологическим показателям в отдаленном послеоперационном периоде. В группе пациентов с базально-клеточным раком кожи оперативное лечение приводило только к частичному восстановлению показате-

лей вязкости крови: на 10-е послеоперационные сутки они снижались до физиологически нормальных величин при скоростях сдвига 200 с^{-1} и 150 с^{-1} ; при этом увеличение данных показателей отмечалось и в отдаленном послеоперационном периоде.

Из этого следует, что оперативное лечение базально-клеточного рака кожи приводит только к частичному восстановлению показателей вязкости крови при высоких скоростях сдвига, которые характеризуют изменения реологических свойств в магистральных сосудах, при этом показатели при низких скоростях сдвига остаются повышенными, что свидетельствует о нарушении микроциркуляции в капиллярах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Клинико-морфологическая характеристика базально-клеточного рака кожи век при первично-множественном поражении / И. С. Сусло [и др.] // Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. № 14. С. 356–358.
2. **Чупров И. Н.** Клеточно-стромальные реакции в базально-клеточных раках кожи. Медицинский альманах. 2010. № 3. С. 77–79.
3. **Юцковский А. Д., Федорова Е. Б., Мельник Э. Н.** Случай педжетоидной базилиомы. Российский журнал кожных и венерических болезней. 1998. № 4. С. 21–22.
4. **Гармонов А. А., Дубенский В. В.** Метаболические и иммунные нарушения у больных базально-клеточным раком кожи и их лечение с помощью радио волновой хирургии и интерферона. Российский журнал кожных и венерических болезней. 2003. № 3. С. 8–12.
5. Особенности цитокинового спектра у больных с базилиомами кожи: патогенетические и клинические аспекты / Л. В. Кузякина [и др.] // Цитокины и воспаление. 2006. № 3. С. 21–26.
6. Особенности клиники и течения опухолей кожи при иммуносупрессии / В. А. Молочков [и др.] // Российский журнал кожных и венерических болезней. 1999. № 6. С. 4–9.
7. **Панова И. Е., Казанцева Е. Е., Шерстнева Ю. В.** Хирургическое лечение узловой формы базально-клеточного рака кожи. Вестник Оренбургского государственного университета. 2004. № 5. С. 124–126.
8. **Снарская Е. С., Кряжева С. С.** Значение нарушения адгезивных процессов при базально-клеточном раке кожи. Альманах клинической медицины. 2006. № 9. С. 123–125.
9. **Fischer E. M., Seneviratne S. I., Vidale P. L.** Soil moisture-atmosphere interactions during the 2003 European summer heat wave. J. Clim. 2007.
10. **Парфенов А. С., Пешков А. В., Добровольский Н. А.** Анализатор крови реологический АКР-2: определение реологических свойств крови : метод. рекомендации. Москва : НИИ физико-химической медицины, 1994. С. 15.
11. **Тодоров Й.** Клинические лабораторные исследования в педиатрии. София, 1961. 784 с.

Поступила 12.04.2016; принята к публикации 10.05.2016; опубликована онлайн 30.09.2016



Об авторах:

Масляков Владимир Владимирович, проректор по научной работе и связям с общественностью, заведующий кафедрой клинической медицины Филиала частного учреждения образовательной организации высшего образования «Медицинский университет “Реавиз”» (Россия, г. Саратов, ул. Верхний рынок, корп. 10), доктор медицинских наук, профессор, **ORCID: <http://orcid.org/http://orcid.org/0000-0001-6652-9140>**, maslyakov@inbox.ru

Дралина Ольга Ивановна, доцент кафедры медико-биологических дисциплин Филиала частного учреждения образовательной организации высшего образования «Медицинский университет “Реавиз”» (Россия, г. Саратов, ул. Верхний рынок, корп. 10), кандидат медицинских наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7248-4161>**, maslyakov@inbox.ru

Власенко Юлия Борисовна, аспирант кафедры клинической медицины Филиала частного учреждения образовательной организации высшего образования «Медицинский университет “Реавиз”» (Россия, г. Саратов, ул. Верхний рынок, корп. 10), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0768-8568>**, maslyakov@inbox.ru

Ким Лариса Михайловна, аспирант кафедры клинической медицины Филиала частного учреждения образовательной организации высшего образования «Медицинский университет “Реавиз”» (Россия, г. Саратов, ул. Верхний рынок, корп. 10), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4956-4838>**, maslyakov@inbox.ru

Вклад соавторов: В. В. Масляков сформулировал теоретические положения статьи, провел обзор литературы, обобщил итоги реализации коллективного проекта. О. И. Дралина, Ю. Б. Власенко, Л. М. Ким занимались сборкой экспериментальной установки, проводили лабораторные исследования. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Suslo IS, Panova IYe, Kuchenkova IA, Semenova LYe. Kliniko-morfologicheskaya kharakteristika bazalno-kletochnogo raka kozhi vek pri pervichno-mnozhestvennom porazhenii [Clinical and morphological characteristics of basal cell skin cancer at the age of primary multiple lesions]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* = Orenburg State University Bulletin. 2011; 14:356-358. (In Russ.)
2. Chuprov IN. Kletochno-stromalnyye reaktsii v bazalno-kletochnykh rakakh kozhi [Cell-derived stromal reaction in basal cell skin cancers]. *Meditsinskiy almanakh* = Medical Almanac. 2010; 3:77-79. (In Russ.)
3. Yuckovskiy AD, Fedorova YeB, Melnik YeN. Sluchay pedzhetoidnoy bazaliomy [Pagetoid case of basal cell carcinoma]. *Rossiyskiy zhurnal kozhnykh i venericheskikh bolezney* = Russian Journal of Skin and Venereal Diseases. 1998; 4:21-22. (In Russ.)
4. Garmonov AA, Dubenskiy VV. Metabolicheskiye i immunnye narusheniya u bolnykh bazalno-kletochnym rakom kozhi i ikh lecheniye s pomoshchyu radiovolnovoy khirurgii i interferona [Metabolic and immune disorders in patients with basal cell skin cancer and treatment with the help of radio wave surgery and interferon]. *Rossiyskiy zhurnal kozhnykh i venericheskikh bolezney* = Russian Journal of Skin and Venereal Diseases. 2003; 3:8-12. (In Russ.)
5. Kuzyakina LV, Snarskaya YeS, Dorofeyev AYe, Ananeva II. Osobennosti tsitokinovogo spektra u bolnykh s bazaliomami kozhi: patogeneticheskiye i klinicheskiye aspekty [Features of the spectrum of cytokine in patients with basal cell carcinoma of the skin: pathogenetic and clinical aspects]. *Tsitokiny i vospaleniye* = Cytokines and Inflammation. 2006; 3:21-26. (In Russ.)
6. Molochkov VA, Prokopenko YeA, Lezvinskaya YeM, et al. Osobennosti kliniki i techeniya opukholey kozhi pri immunosupressii [Features of clinic and course of skin tumors with immunosuppression]. *Rossiyskiy zhurnal kozhnykh i venericheskikh bolezney* = Russian Journal of Skin and Venereal Diseases.

1999; 6:4-9. (In Russ.)

7. Panova IYe, Kazantseva YeYe, Sherstneva YuV. Khirurgicheskoye lecheniye uzlovoy formy bazalno-kletochnogo raka kozhi [Surgical treatment of nodular basal cell skin cancer]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* = Orenburg State University Bulletin. 2004; 5:124-126. (In Russ.)

8. Snarskaya YeS, Kryazheva SS. Znachenie narusheniya adgezivnykh protsessov pri bazalno-kletochnom rake kozhi [The value of a violation of adhesive processes in the basal cell skin cancer]. *Almanakh klinicheskoy meditsiny* = Almanac of Clinical Medicine. 2006; 9:123-125. (In Russ.)

9. Fischer EM., Seneviratne SI., Vidale PL. Soil moisture-atmosphere interactions during the 2003 European summer heat wave. *J. Clim.* 2007.

10. Parfenov AS, Peshkov AV, Dobrovolskiy NA. Analizator krovi reologicheskoy AKR-2. Opredeleniye reologicheskikh svoystv krovi. (Metodicheskiye rekomendatsii) [Analyzer blood rheology AKR-2. Determination of rheological properties of blood. (Guidelines)]. Moscow: NII Fiziko-khimicheskoy meditsiny; 1994. (In Russ.)

11. Todorov Y. Klinicheskiye laboratornyye issledovaniya v pediatrii [Clinical laboratory studies in pediatric patients]. Sofiya; 1961. (In Russ.)

Submitted 12.04.2016; accepted 10.05.2016; published online 30.09.2016

About the authors:

Vladimir V. Maslyakov, vice rector for Research and Public Relations, head of the Department of Clinical Medicine, Medical University "Reaviz" (10, Verkhniy Rynok St., Saratov, Russia), Dr.Sci. (Medicine), professor, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6652-9140>**, maslyakov@inbox.ru

Olga I. Dralina, docent of Biomedical Subjects chair, Medical University "Reaviz" (10, Verkhniy Rynok St., Saratov, Russia), Ph.D. (Medicine), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7248-4161>**, maslyakov@inbox.ru

Yuliya B. Vlasenko, post-graduate student of Clinical Medicine chair, Medical University "Reaviz" (10, Verkhniy Rynok St., Saratov, Russia), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0768-8568>**, maslyakov@inbox.ru

Larisa M. Kim, post-graduate student of Clinical Medicine chair, Medical University "Reaviz" (10, Verkhniy Rynok St., Saratov, Russia), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4956-4838>**, maslyakov@inbox.ru

The contribution of the authors: V. V. Maslyakov formulated a theoretical framework, reviewed the relevant literature, and summarized the results of the collective project. O. I. Dralina, Yu. B. Vlasenko, L. M. Kim engaged in assembly of the experimental setup, performed laboratory tests. All authors have read and approved the final manuscript.



ИССЛЕДОВАНИЕ ЭРИТРОЦИТОВ КРОВИ МЕТОДОМ РАСТРОВОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

**С. Н. Мамаева¹, Я. А. Мунхалова¹, И. В. Кононова¹,
А. А. Дьяконов¹, В. Н. Корякина¹, В. В. Шутова²,
Г. В. Максимов³**

¹ФГАОУ ВПО «СВФУ им. М. К. Аммосова» (г. Якутск, Россия)

²ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)

³ФГОУ ВПО «МГУ им. М. В. Ломоносова» (г. Москва, Россия)

Введение. Использование возможностей современного оборудования, такого как растровый электронный микроскоп (РЭМ), может позволить получить важную дополнительную информацию с возможностью ее дальнейшего использования для внедрения новых методов комплексного исследования анализов крови в диагностике почечных заболеваний с синдромом гематурии.

Материалы и методы. Исследования морфологии эритроцитов больных гематурией проводились методом РЭМ высокого разрешения на приборе JSM-7800F. В ходе работы была применена методика исследования клеток и наночастиц без напыления проводящих покрытий.

Результаты исследования. Были получены результаты сравнительного анализа (методами математической статистики) линейных размеров эритроцитов крови детей с болезнью Берже и контрольной группы; обнаружены наноразмерные частицы на поверхности эритроцитов и IgA-нефропатии. Исследование образцов мазков крови показало, что при определенных заболеваниях наблюдаются изменения морфологии эритроцитов и наличие на их поверхности нанообъектов. Можно предположить, что эти объекты имеют органическое происхождение, поскольку многие органические объекты являются диэлектриками и при изучении с помощью РЭМ могут быть видны как яркие светящиеся объекты. Нанообъекты имеют размеры, сходные с размерами малых вирусов, и могут являться подтверждением предположения о возможном вирусном этиологическом факторе заболевания Берже и других видов нефропатий. Кроме этого, были выявлены изменения линейных размеров эритроцитов в сторону увеличения при заболеваниях Берже по сравнению с размерами эритроцитов контрольной группы и группы больных другими видами нефропатии.

Обсуждение и заключения. Метод РЭМ без напыления исследуемых образцов является достаточно точным для исследования морфологии клеток крови. Его использование улучшит качество диагностирования сложно диагностируемого заболевания Берже. Дальнейшее увеличение статистики и анализ объектов нанометровых размеров расширит знания о проявлениях заболевания.

Ключевые слова: эритроциты, гематурия, болезнь Берже, электронная микроскопия, нефропатия

Для цитирования: Исследование эритроцитов крови методом растровой электронной микроскопии / С. Н. Мамаева [и др.] // Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 3. С. 381–390. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201603.381-390

THE STUDY OF RED BLOOD CELLS BY SCANNING ELECTRON MICROSCOPY

**S. N. Mamayeva^a, Ya. A. Munkhalova^a, I. V. Kononova^a,
A. A. Dyakonov^a, V. N. Koryakina^a, V. V. Shutova^b,
G. V. Maksimov^c**

^a*Northen-Eastern Federal University (Yakutsk, Russia)*

^b*National Research Mordovia State University (Saransk, Russia)*

^c*Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)*

Introduction. Using the possibilities of modern equipment, such as a scanning electron microscope (SEM), could provide important additional information for red blood cells (RBCs) diagnostics, which can be used to introduce new methods of complex studies of blood tests in the diagnosis of renal disease with hematuria syndrome.

Materials and Methods. Investigations of the morphology of the RBCs of patients with hematuria by SEM high-resolution instrument JSM-7800F. The technique of cell and uncoated nanoparticles research without conductive coatings has been developed.

Results. The findings obtained results of a comparative analysis of the methods of mathematical statistics, linear dimensions of the red blood cells of children Berger's disease patients and control group. Nanoscale particles detected on the surface of red blood cells and IgA-nephropathy. Smear of blood samples showed that in certain diseases of the observed changes in the morphology of red blood cells and the presence on their surface nano-objects. It can be assumed that these objects are of organic origin, as many organic objects are dielectrics and in the study of SEM, they can be seen as bright glowing objects. Nano-objects have dimensions similar to the small size of viruses and can be a confirmation of the assumption of a possible viral etiological factor Berger disease and other forms of nephropathy. The changes in linear dimensions of erythrocytes upward Berger in diseases compared with the size of the control group and the group of erythrocytes of patients with other forms of nephropathy.

Discussion and Conclusions. The SEM method without spraying of the samples is very accurate for the study of the morphology of blood cells. Its use will improve the quality of diagnosis is difficult diagnosed Berger disease. A further increase in statistics and the analysis of nanometer-sized objects extend the knowledge of the manifestations of the disease.

Keywords: erythrocytes, red blood cells (RBCs), hematuria, Berger's disease, electron microscopy, nephropathy

For citation: Mamayeva SN, Munkhalova YaA, Kononova IV, Dyakonov AA, Koryakina VN, Shutova VV, Maksimov GV. The study of red blood cells by scanning electron microscopy. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2016; 3(26):381-390. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201603.381-390

Введение

В Республике Саха (Якутия), как и в странах с преобладающим количеством азиатского населения, в настоящее время наблюдается рост почечной патологии среди детей. Для сравнения: в США распространение заболевания варьируется в пределах 2–10 %, тогда как в Азии – до 50 % (в Японии – 18–40 %) [1–3]. Известно, что среди многочисленных нефропатий гематурия является единствен-

ным симптомом заболевания почек и мочевыводящих путей [4]. Так, при IgA-нефропатии (болезнь Берже) гематурия является одним из основных симптомов [5]. Причины возникновения, проявления заболевания с синдромом гематурии, в том числе болезни Берже, на клеточном и молекулярном уровнях в настоящее время изучены недостаточно.

В связи с этим важным является формирование новых методов иссле-



дования морфологии эритроцитов при гематурии для развития диагностики и терапии заболевания с учетом активного внедрения сложного научно-технического оборудования, в том числе лазерной интерференционной и электронной микроскопии [6–7].

Использование возможностей современного оборудования, такого как растровый электронный микроскоп, позволит получить важную дополнительную информацию, которую можно использовать для внедрения новых методов комплексного исследования анализов крови в изучение и диагностировании почечных заболеваний с синдромом гематурии [4–5].

Материалы и методы

В данной работе предлагается новый метод исследования изменения морфологии клетки и выявления неидентифицированных нанообъектов с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ) высокого разрешения JSM-7800F («Japanese Electron Optics Laboratory» – «JEOL», Япония) [8–9]. Прибор имеет термополевой эмиссионный катод Шоттки и супергибридную объективную линзу, значительно уменьшающую хроматические и сферические aberrации и существенно увеличивающую разрешение, особенно при малых ускоряющих напряжениях. Данный РЭМ оснащен системой «Gentle Beam», которая позволяет уменьшать скорость электронов падающего на образец пучка и ускорять испускаемые им электроны, что существенно улучшает соотношение сигнал/шум и качество изображения при низких ускоряющих напряжениях.

Данная система позволяет проводить исследования поверхностей эритроцитов в мазках крови и пробах мочи без напыления проводящих покрытий и без повреждения исследуемого объекта в течение времени, достаточного для того, чтобы сделать необходимые снимки, а также визуализировать на поверхности эритроцитов объекты

размером 21 нм. Использование покрытий, толщина которых соизмерима с наноструктурами на поверхности клетки, ранее не давало возможности обнаруживать подобные объекты.

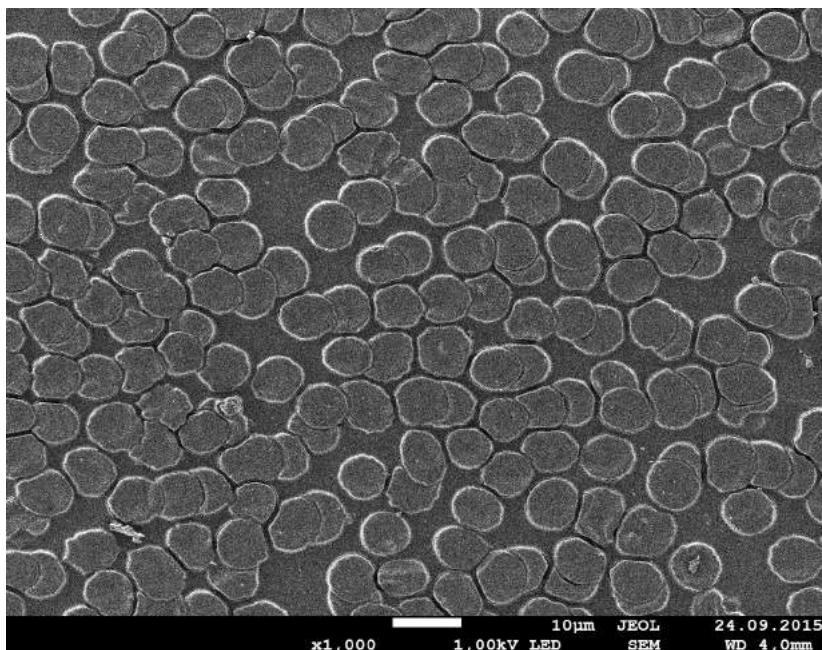
Рассматриваемый РЭМ, имеющий диапазон увеличения 25–1 000 000, позволяет исследовать объект при ускоряющем напряжении 0,1–30 кВ с разрешением порядка 1,2 нм при 1 кВ и 0,08 нм при 15 кВ. Устройство оборудовано 4-мя типами детекторов: верхний детектор электронов, верхний детектор вторичных электронов, детектор обратно отраженных электронов, нижний детектор вторичных электронов. В данной работе был использован нижний детектор, обеспечивающий регистрацию отраженных электронов, испускаемых при малых углах. Работа в этом режиме позволяет снизить эффект электростатического заряда на поверхности образца, что существенно улучшает качество изображения поверхности эритроцитов.

Во время исследований при подготовке мазков крови использовали венозную кровь, взятую натощак с помощью вакуумных систем забора крови. Максимальный диаметр образцов составлял 20 мм. Предварительно отбирали наиболее характерные эритроциты в мазках с помощью оптической микроскопии, что позволило сократить время и ресурсы основного исследования.

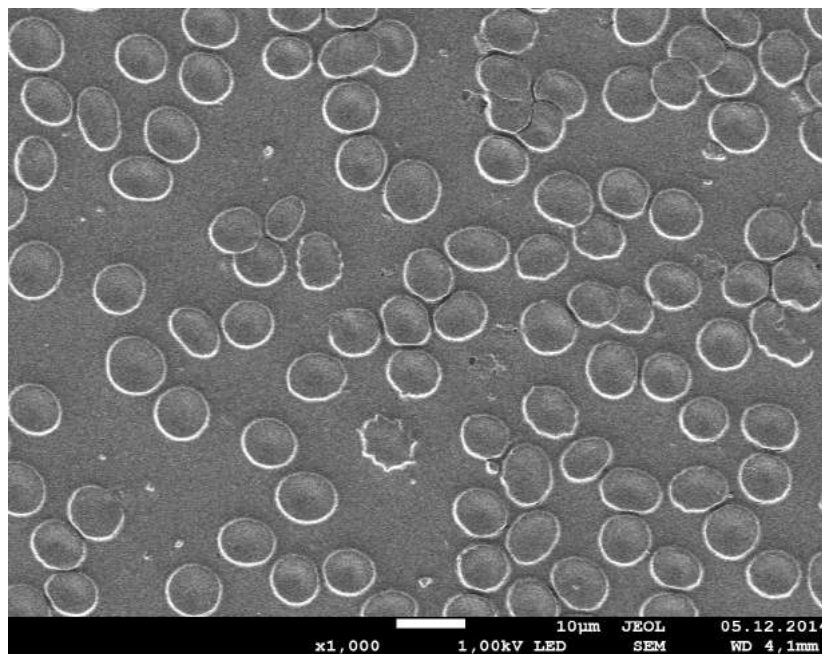
Исследования мазков крови проводили при ускоряющих напряжениях 1 и 2 кВ с подачей напряжения на исследуемый объект 8–10 В.

Результаты исследования

На растровом электронном микроскопе «JSM-7800F» фирмы «JEOL» в УНТЛ «Графеновые нанотехнологии» ЦКП АИЦ МНИОК СВФУ им. М. К. Аммосова были проведены исследования мазков крови больных детей с синдромом гематурии и детей контрольной группы, в результате которых были получены изображения эритроцитов (рис. 1–2).



Р и с. 1. РЭМ-изображения эритроцитов крови ребенка из контрольной группы
F i g. 1. Controls red blood cells on SEM



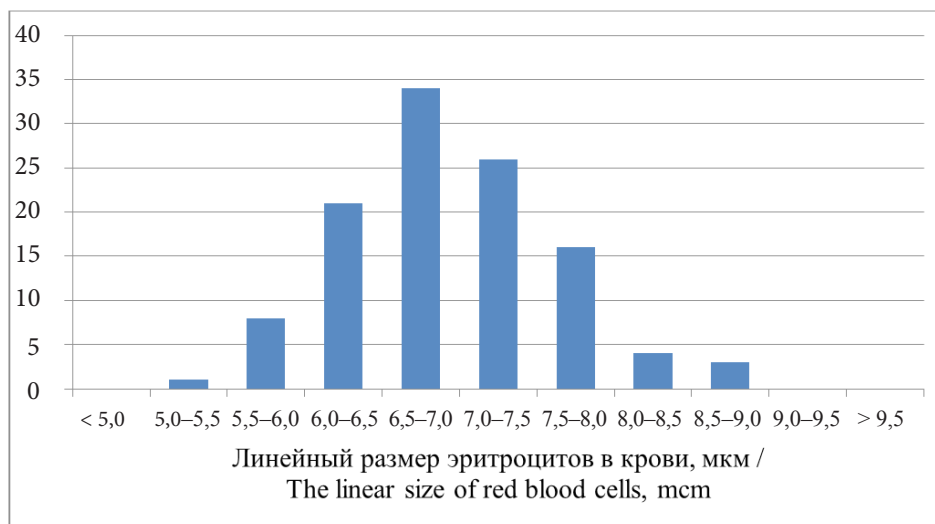
Р и с. 2. РЭМ-изображения эритроцитов крови больного ребенка с синдромом гематурии
F i g. 2. Hematuria red blood cells on SEM



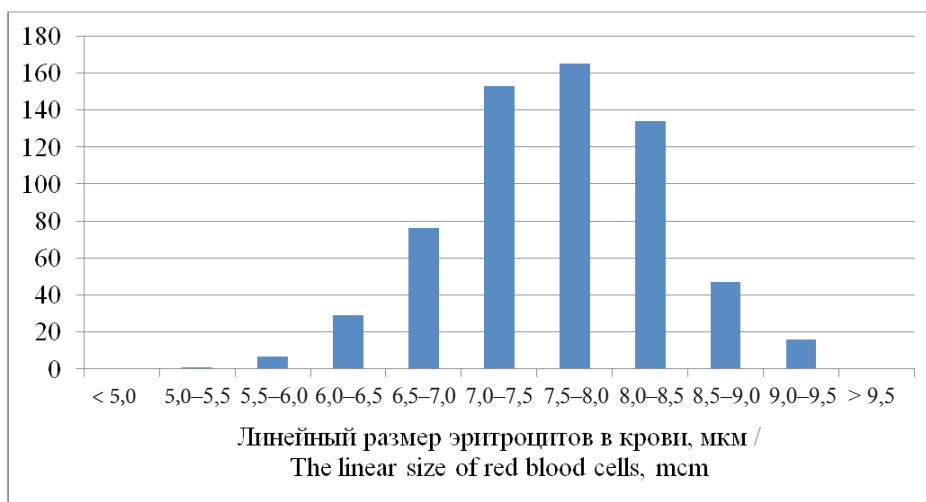
На основе эмпирических данных исследований мазка крови методом РЭМ были проведены обработка и анализ результатов методами математической статистики.

Например, при проведении измерения диаметров каждого эритроцита на рис. 1–2 статистическая выборка составила 113 и 94 эритроцитов соот-

ветственно. Для построения распределения размеров эритроцитов интервалы значений для линейных размеров эритроцита составляли 5–10 мкм с шагом 0,5 мкм. На рис. 3–4 представлены гистограммы распределения размеров эритроцитов крови детей контрольной группы и больных с синдромом гематурии соответственно.



Р и с. 3. Гистограмма распределения размеров эритроцитов крови детей контрольной группы
F i g. 3. Histogram of control red blood cells

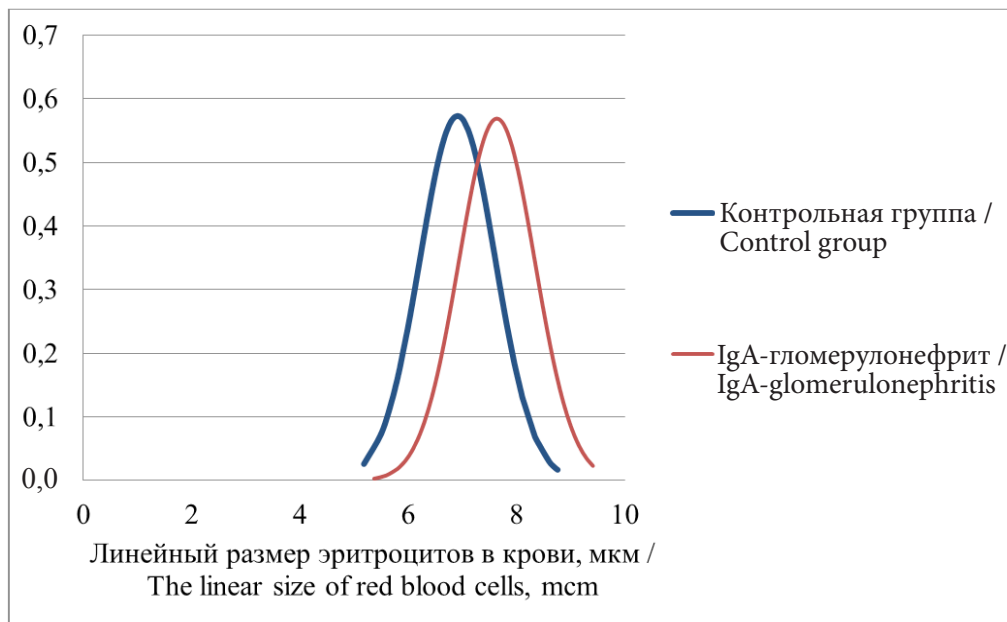


Р и с. 4. Гистограмма распределения размеров эритроцитов крови больных детей с синдромом гематурии (при болезни Берже)

F i g. 4. Histogram of hematuria (IgA-glomerulonephritis) red blood cells

В обоих случаях распределения размеров эритроцитов имеют экстремальный характер и подчиняется закону нормального распределения. По результатам

вычисления основных статистических характеристик были построены графики функций плотности распределения размеров эритроцитов в крови (рис. 5).



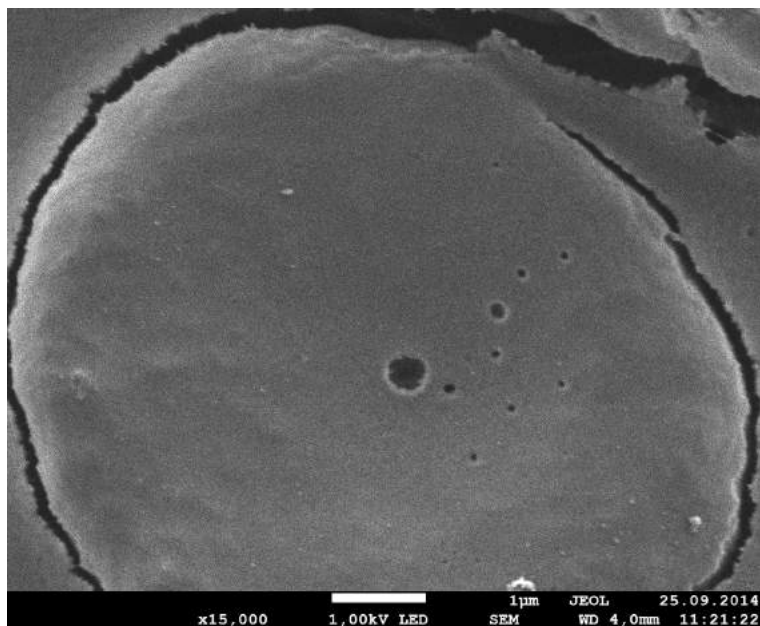
Р и с. 5. Функция плотности распределения размеров эритроцитов крови больных детей с синдромом гематурии (при болезни Берже)

F i g. 5. Gaussian function of distribution of sizes red blood cells with hematuria (IgA-glomerulonephritis)

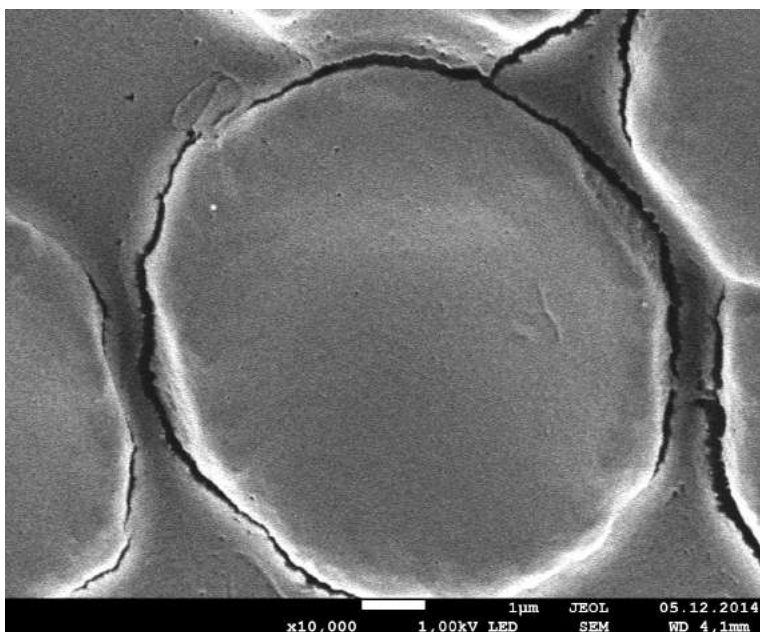
На рис. 5 представлены графики сравнения функций плотности распределения размеров эритроцитов для контрольной группы и группы больных с синдромом гематурии. В результате статистических исследований эритроцитов при сравнении контрольной группы и группы с заболеванием Берже методом математической статистики было выявлено, что распределение эритроцитов имеет вид оди-

ночных пиков с одинаковыми значениями ширины на полувысоте пиков, смещенных относительно друг друга. Среднее значение линейного размера эритроцита мазков крови контрольной группы составило 6,912 мкм; больных с синдромом гематурии – 7,640 мкм.

На поверхности эритроцитов наблюдались также «светящиеся» объекты нанометрового размера (рис. 6 а–б).



a)



б)

Р и с. 6. «Светящиеся» нанометровые объекты различных размеров на поверхности эритроцитов крови при болезни Берже

F i g. 6. Nano size objects on red blood cells with hematuria (IgA-glomerulonephritis)

Обсуждение и заключения

Исследование мазков крови на растровом электронном микроскопе «JEOL JSM-7800F» показало, что при определенных заболеваниях наблюдаются изменения морфологии эритроцитов и наличие на их поверхности нанообъектов, что было невозможно обнаружить при исследованиях на электронных микроскопах раннего поколения. Можно предположить, что эти объекты имеют органическое происхождение, поскольку многие органические объекты являются диэлектриками и при изучении с помощью РЭМ могут быть видны как яркие светящиеся объекты. Нанообъекты имеют размеры, сходные с размерами малых вирусов [10–11] и могут являться подтверждением предположения о возможном вирусном этиологическом

факторе заболевания Берже и других видов нефропатий. Выявление изменения линейных размеров эритроцитов в сторону увеличения при заболеваниях Берже по сравнению с размерами эритроцитов контрольной группы и группы больных другими видами нефропатии с помощью РЭМ без напыления исследуемых образцов является одним из наиболее точных методов исследования морфологии клеток крови и вносит существенный вклад в улучшение качества диагностирования данного заболевания (как правило, сложно диагностируемого).

Дальнейшее увеличение статистики и анализ объектов нанометровых размеров расширит знания о проявлениях заболевания и принесет свой вклад в методах диагностирования заболеваний с синдромом гематурии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Race/ethnicity and disease severity in IgA nephropathy / Y. N. Hall [et al.] // BMC Nephrol. 2004. Vol. 5. P. 10. DOI: 10.1186/1471-2369-5-10.
2. Мунхалова Я. А., Захарова Н. М., Горохова А. В. Особенности гломерулонефрита ассоциированного с герпес-вирусной инфекцией // Экология и здоровье человека на Севере : сб. трудов IV Конгресса с междунар. участием. Киров : МЦНИП, 2013. С. 405–409. URL: <http://elibrary.ru/download/77255227.pdf>.
3. Горохова А. В., Мунхалова Я. А. Результаты морфологического исследования биоптатов почек у детей с хроническими нефропатиями в РС (Я) // Современные проблемы педиатрии : сб. науч. трудов III съезда педиатров ДФО (Якутск, 2014). Киров : МЦНИП, 2014. С. 116–122. URL: <http://elibrary.ru/download/43601357.pdf>.
4. IgA nephropathy: molecular mechanisms of the disease / J. Mestecky [et al.] // Annual Review of Pathology: Mechanisms of Disease. 2013. Vol. 8. P. 217–240. DOI: 10.1146/annurev-pathol-011110-130216
5. Feehally J., Cameron J. S. IgA Nephropathy: Progress Before and Since Berger. Am. J. Kidney Diseases. 2011. Vol. 58 (2). P. 310–319. DOI: <http://dx.doi.org/10.1053/j.ajkd.2011.03.024>
6. Phase-modulation laser interference microscopy: an advance in cell imaging and dynamics study / A. R. Brazhe [et al.] // Journal of biomedical optics. 2008. Vol. 13 (3). DOI: 10.1117/1.2937213.
7. Применение лазерной интерференционной микроскопии для оценки формы и состояния эритроцитов / А. И. Юсипович [и др.] // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2008. Т. 145, № 3. С. 357–360. DOI: 10.1007/s10517-008-0097-3
8. Официальный сайт компании JEOL [Электронный ресурс]. URL: http://jeolrus.com/products/d_products/jsm-7800f/index.html (дата обращения: 20.02.2015).
9. Растровая электронная микроскопия для нанотехнологий: методы и применение / Под ред. У. Жу, Ж. Л. Уанга. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 582 с. URL: <http://docme.ru/5pb5>.
10. Ковалев Н. А., Красочко П. А. Вирусы и прионы в патологии животных и человека. Минск : Беларус. наука, 2012. 426 с. URL: <http://www.litres.ru/n-a-kovaliev/virusy-i-priony-v-patologii-zhivotnyh-i-cheloveka-7063392>.



11. Роль вирусной инфекции в патогенезе гломерулонефрита у детей. Современные подходы к иммунокорригирующей терапии / В. В. Длин [и др.] // Нефрология и диализ. 2000. Т. 2, № 4. С. 285–289. URL: <https://docviewer.yandex.ru/?url=http%3A%2F%2Fjournal.nephro.ru%2Findex.php%3Fr%3Djournal%2FdownloadPdfFile%26articleId%3D1793&lang=ru&c=574d7290a2fe>.

Поступила 11.01.2016; принята к публикации 11.05.2016; опубликована онлайн 30.09.2016

Об авторах

Мамаева Саргылана Николаевна, доцент кафедры общей и экспериментальной физики Физико-технического института ФГАОУ ВПО «СВФУ им. М. К. Аммосова» (Россия, г. Якутск, ул. Белинского, д. 58), кандидат физико-математических наук, sargylana_mamaeva@mail.ru

Мунхалова Яна Афанасьевна, заведующая кафедрой педиатрии и детской хирургии Медицинского института ФГАОУ ВПО «СВФУ им. М. К. Аммосова» (Россия, г. Якутск, ул. Белинского, д. 58), кандидат медицинских наук, tokmacheva@mail.ru

Кононова Ирина Васильевна, заведующая учебно-научной иммунологической лабораторией клиники Медицинского института ФГАОУ ВПО «СВФУ им. М. К. Аммосова» (Россия, г. Якутск, ул. Белинского, д. 58), irinakon.07@mail.ru

Дьяконов Афанасий Алексеевич, ведущий инженер кафедры высокомолекулярных соединений и органической химии Института естественных наук ФГАОУ ВПО «СВФУ им. М. К. Аммосова» (Россия, г. Якутск, ул. Белинского, д. 58), afonya71185@mail.ru

Корякина Вероника Никоновна, студентка Физико-технического института ФГАОУ ВПО «СВФУ им. М. К. Аммосова» (Россия, г. Якутск, ул. Белинского, д. 58), vkever@mail.ru

Шутова Виталина Викторовна, доцент кафедры биотехнологии, биоинженерии и биохимии ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат биологических наук, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6437-3621>, vshutova@yandex.ru

Максимов Георгий Владимирович, профессор кафедры биофизики биологического факультета ФГОУ ВПО «МГУ им. М. В. Ломоносова» (Россия, г. Москва, Ленинские горы 1, корп. 12), доктор биологических наук, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7377-0773>, gmaximov@mail.ru

REFERENCES

1. Hall YN, Fuentes EF, Chertow GM, Olson JL. Race/ethnicity and disease severity in IgA nephropathy. *BMC Nephrol.* 2004; 5(10). DOI: 10.1186/1471-2369-5-10
2. Munkhalova YaA, Zakharova NM, Gorokhova AV. Osobennosti glomerulonefrita assotsirovannogo s herpes-virusnoy infektsiey [Features of glomerulonephritis associated with herpesvirus infection]. In: *Ecologiya i zdorovye cheloveka na Severe: Sbornik trudov IV Kongressa s mezhdunarodnym uchastiem* [Environmental and human health in the North: proceedings of 4th Congress with international participation]. Kirov, 2013. Available from: <http://elibrary.ru/download/77255227.pdf>. (In Russ.)
3. Gorokhova AV, Munkhalova YaA. Rezultaty morfologicheskogo issledovaniya biopiatov pochek u detey s khronicheskimi nefropatiyami v RS (Ya) [The results of morphological examination of renal biopsies in children with chronic nephropathy in RS (Ya)]. In: *Sovremennyye problemy pediatrii: Sbornik nauchnykh trudov III Syezda pediatrov Dalnevostochnogo federalnogo okruga* [Current problems in pediatric: Proceedings of 3rd Congress of pediatricians of the Far Eastern Federal District]. Kirov; 2014:116-122. Available from: <http://elibrary.ru/download/43601357.pdf>. (In Russ.)
4. Mestecky J, Raska M, Julian BA, Gharavi AG, Renfrow MB, Moldoveanu Z, et al. IgA nephropathy: molecular mechanisms of the disease. *Annual Review of Pathology: Mechanisms of Disease.* 2013; 8:217-240. DOI: 10.1146/annurev-pathol-011110-130216
5. Feehally J, Cameron JS. IgA Nephropathy: Progress Before and Since Berger. *Am. J. Kidney Diseases.* 2011; 58(2):310-319. DOI: <http://dx.doi.org/10.1053/j.ajkd.2011.03.024>

6. Brazhe AR, Brazhe NA, Maksimov GV, Ignatyev PS, Rubin AB, Mosekilde E, Sosnovtseva OV. Phase-modulation laser interference microscopy: an advance in cell imaging and dynamics study. *Journal of Biomedical Optics*, 2008; 13(3). DOI: 10.1117/1.2937213
7. Yusipovich AI, Bryzgalova NYu, Parshina YeYu, Lomakin AG, Rodnenkov OV, Levin GG, Maksimov GV, Rubin AB. Evaluation of erythrocyte shape and status by laser interference microscopy. *Byulleten eksperimentalnoy biologii i meditsiny* = Bulletin of Experimental Biology and Medicine. 2008; 145(3):382-385. DOI: 10.1007/s10517-008-0097-3 (In Russ.)
8. Official site of JEOL company. Available from: http://jeolrus.com/products/d_products/jsm-7800f/index.html.
9. Zhu W, Wang ZhL, editors. Scanning Microscopy for Nanotechnology. Techniques and application. Springer; 2006. Available from: <http://bookree.org/reader?file=645711&pg=2>.
10. Kovalev NA, Krasochko PA. Virusy i priony v patologii zhivotnykh i cheloveka [Viruses and prions in animals and human pathology]. Minsk; 2012. Available from: <http://www.litres.ru/n-a-kovalev/virusy-i-priony-v-patologii-zhivotnykh-i-cheloveka-7063392>. (In Russ.)
11. Dlin VV, Gorchakova LN, Markaryan AS, Malinovskaya VV. Rol virusnoy infekcii v patogeneze gromerulonefrita u detey. Sovremennyye podkhody k immunokorregiruyushchey terapii [The viral infection role in children's glomerulonephritis pathogenesis. Modern approaches in immunocorrective therapy]. *Nefrologiya i dializ* = Nephrology and Dialysis. 2000; 2(4):285-289. Available from: <https://docviewer.yandex.ru/?url=http%3A%2F%2Fjournal.nephro.ru%2Findex.php%3Fr%3Djournal%2FdownloadPdfFile%26articleId%3D1793&lang=ru&c=574d7290a2fe>. (In Russ.)

Submitted 11.01.2016; accepted 11.05.2016; published online 30.09.2016

About the authors:

Sargylana N. Mamayeva, docent of General and Experimental Physics chair, Physical Technical Institute, Northen-Eastern Federal University (58, Belinskogo St., Yakutsk, Russia), Ph.D. (Physics and Mathematics), sargylana_mamaeva@mail.ru

Yana A. Munkhalova, head of Pediatrics and Pediatric Surgery chair, Medical Institute, Northen-Eastern Federal University (58, Belinskogo St., Yakutsk, Russia), Ph.D. (Medicine), tokmacheva@mail.ru

Irina V. Kononova, head of Teaching and Research of Clinical Immunology Laboratory, Medical Institute, Northen-Eastern Federal University (58, Belinskogo St., Yakutsk, Russia), irinakon.07@mail.ru

Afanasiy A. Dyakonov, leading engineer of Macromolecular Compounds and Organic Chemistry chair, Institute of Natural Sciences, Northen-Eastern Federal University (58, Belinskogo St., Yakutsk, Russia), afonya71185@mail.ru

Veronika N. Koryakina, student of Physical Technical Institute, Northen-Eastern Federal University (58, Belinskogo St., Yakutsk, Russia), vkever@mail.ru

Vitalina V. Shutova, docent of Biotechnology, Bioengineering and Biochemistry chair, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St, Saransk, Russia), Ph.D. (Biology), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6437-3621>, vshutova@yandex.ru

Georgiy V. Maksimov, professor of Biophysics chair, Lomonosov Moscow State University (1/12, Leninskiye gory, Moscow, Russia), Dr.Sci. (Biology), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7377-0773>, gmaximov@mail.ru



ДЕРМАТОГЛИФИКА ПАЛЬЦЕВ РУК МОЛОДЫХ МУЖЧИН С РАЗЛИЧНОЙ ГРУППОЙ КРОВИ СИСТЕМЫ АВО: ХАРАКТЕР И ПРИРОДА ВЗАИМОСВЯЗИ

А. П. Божченко¹, В. И. Ригонен²

¹Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова
(г. Санкт-Петербург, Россия)

²ФГБВОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»
(г. Петрозаводск, Россия)

Введение. Статья посвящена изучению частоты встречаемости типов папиллярных узоров пальцев рук у людей с различной группой крови, выявлению и характеристике имеющихся взаимосвязей с целью установления перспективности их комплексного использования в системе медико-биологической диагностики и прогнозирования.

Материалы и методы. Материалом для исследования послужили дактилокарты и сведения о группе крови изосерологической системы АВО 998-и молодых мужчин русской этнической группы (жителей Республики Карелия). В отпечатках пальцев распознавали дуговые, петлевые и завитковые типы узоров.

Результаты исследования. В результате проведенного исследования были установлены статистически значимые ($p < 0,05$) различия частоты встречаемости типов узоров у представителей различных групп крови. Например, на указательном пальце левой руки у лиц с I (O) группой крови по сравнению с носителями II (A) группы достоверно чаще наблюдается петлевой узор ($40,8 \pm 2,5$ и $33,7 \pm 2,0$ %; $t = 2,22$), а у лиц с IV (AB) группы по сравнению с I (O) на указательном пальце правой руки – завитковый ($27,8 \pm 2,2$ и $14,6 \pm 5,5$ %; $t = -2,20$). Представляя частотные характеристики типов узоров совокупно по всем пальцам, для представителей различных групп крови удалось выстроить их в ряды возрастания и убывания. По дуговому узору от I (O) и II (A) групп к III (B), а затем к IV (AB) выстраивается ряд возрастания: 8,1 (7,8) – 8,9 – 14,9 %. Что касается завиткового узора, из них же выстраивается асимметричный первому ряд убывания: 21,2 (21,6) – 18,2 – 15,9 %. Было высказано предположение, что природа связи групп крови системы АВО с дерматоглифическими признаками заключается в модифицирующем (супрессорном) влиянии агглютиногенов на эмбриогенез гребешковой кожи.

Обсуждение и заключения. Поскольку дерматоглифические признаки отражают генетическое расстояние между исследуемыми группами населения, целесообразно их использование в системе медико-биологической диагностики в качестве дополнительного морфогенетического маркера.

Ключевые слова: дерматоглифика, группа крови, наследственность, генетический фактор, папиллярные узоры

Для цитирования: Божченко А. П., Ригонен В. И. Дерматоглифика пальцев рук молодых мужчин с различной группой крови системы АВО: характер и природа взаимосвязи. Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 3. С. 391–401. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201603.391-401

DERMATOGLIPHICS OF FINGERS IN YOUNG MEN HAVING DIFFERENT BLOOD GROUPS BY ABO SYSTEM: CHARACTER AND NATURE OF INTERACTION

A. P. Bozhchenko^a, V. I. Rigonen^b

^a*Military Medical Academy (St. Petersburg, Russia)*

^b*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Petrozavodsk State University" (Petrozavodsk, Russia)*

Introduction. The article deals with the occurrence of the papillary patterns types on the fingers of people having different blood groups, determination and characteristic of their relationship to establish the prospects of their complex usage in the system of medical biological diagnostics and prediction.

Materials and Methods. The research based on the dactilosopic cards and the data on the blood group by iso-serological ABO system of 998 young Russian men living in the Republic of Karelia. The arched, looping and curling types of patterns were revealed in the finger prints.

Results. It was stated that there were statistically valuable differences in the occurrence of the patterns types in people with various blood groups ($p < 0,05$). Thus, in individuals with blood group I (0) the looping pattern on the forefinger of the left hand is significantly more frequent comparing to those with blood group II (A) ($40,8 \pm 2,5$ and $33,7 \pm 2,0$ %; $t = 2,22$); in individuals with blood group I (0) the curling pattern on the forefinger of the right hand is observed more frequently than in those with blood group IV (AB) ($27,8 \pm 2,2$ and $14,6 \pm 5,5$ %; $t = 2,20$). As for the occurrence of the pattern types over all the fingers of the individuals with different blood groups, ascending and descending series were received. The occurrence of the arched pattern gives the ascending series from I (0), II (A) to III (B), and then to IV (AB) ($8,1$ ($7,8$) – $8,9$ – $14,9$ %). While in the case of curling pattern, the same blood groups give the descending series ($21,2$ ($21,6$) – $18,2$ – $15,9$ %). It was proposed that the connection between the blood group by ABO system and dermatoglyphic signs by its nature consist in the modifying (suppressor) impact of agglutinogens on embryogenesis of the crest skin.

Discussion and Conclusions. Since dermatoglyphic signs reflect the genetic distance between the studied groups of population, it was concluded that they could be used in the system of medico-biological diagnostics as an additional morphogenetic marker.

Keywords: dermatoglyphics, blood groups, heredity, genetic factor, papillary patterns

For citation: Bozhchenko AP, Rigonen VI. Dermatoglyphics of fingers in young men having different blood groups by ab0 system: character and nature of interaction. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2016; 3(26):391-401. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201603.391-401

Введение

Антигенные свойства являются важнейшей характеристикой любого биологического существа. В медицине наибольшее практическое значение имеет изосерологическая система АВО – антигены именно этой системы чаще исследуются вследствие своей высокой иммуногенности. Кроме того, частота их встречаемости отличается у представителей различных

этнических групп и расовых стволов, что предопределяет использование ее в популяционных исследованиях и антропогенетике [1–2].

В последние годы сведения о групповой принадлежности крови стали применяться в диагностике предрасположенности к мультифакториальным заболеваниям, при проведении профессионального отбора и медико-социальной паспортизации населения



[3–4]. Однако поскольку изолированная диагностическая (прогностическая) информативность антигенов данной системы недостаточно обширна [5], проводится поиск дополнительных маркеров среди групп крови других изосерологических, лейкоцитарных, сывороточных и ферментных систем, а также среди общих конституциональных, физических и внешне-опознавательных признаков.

В качестве возможного источника новых маркеров активно исследуется признаковая система дерматоглифики (*derma* – кожа, *glyphō* – рисунок). Гребешковая кожа пальцев, ладоней и подошв формируется внутриутробно под действием различных, в том числе генетических факторов, фиксируя в особенностях, образующихся из папиллярных гребней рисунков (узоров), результирующую их совокупного влияния [3; 6]. Например, в работе, посвященной изучению генетических маркеров физических способностей человека, отмечается, что лица с дуговыми и завитковыми папиллярными узорами (на пальцах рук) имеют более высокие координационные способности. У таких людей также чаще наблюдаются антигены В и АВ изосерологической системы АВО [7].

Комплексный подход повышает вероятность правильной диагностики (прогноза) двигательных способностей человека. У больных лепрой была выявлена связь заболевания с антигенами А и АВ; у этих же больных чаще встречаются завитковые папиллярные узоры. Если имеется сочетание данных признаков, то риск заболевания особенно высок. Групповые антигены и пальцевые дерматоглифы являются индикаторами генных структур, ответственных за восприимчивость к лепре [5]. Однако по мнению ряда других исследователей, связи между указанными признаковыми системами слишком слабы и неинформативны [6; 8].

В связи с недостаточностью и противоречивостью существующих в настоящее время научных сведений о взаимосвязях дерматоглифики и групп крови, а также перспективностью их комплексного использования в системе медико-биологической диагностики (прогнозирования) **целью данного исследования** является изучение частоты встречаемости основных типов папиллярных узоров пальцев рук у людей с различной группой крови (изосерологической системы АВО), выявление и характеристика имеющихся взаимосвязей.

Материалы и методы

Поскольку дерматоглифические и серологические характеристики во многом определяются этно-территориальной принадлежностью лиц [1; 6], исследование было проведено относительно однородной группы – молодых русских мужчин (без внешне заметных признаков врожденных заболеваний), родившихся и проживающих на территории Республики Карелия (всего 998 чел.).

Дерматоглифические признаки изучали в отпечатках гребешковой кожи пальцев рук, полученных путем прокатки пальцев (после предварительного окрашивания их черной типографской краской) на стандартных бумажных бланках дактилоскопических карт. Распознавали следующие типы папиллярных узоров: дуговой (А) – папиллярные линии дугообразно изогнуты в дистальном направлении; радиальный петлевой (Lr) – папиллярные линии образуют радиально открытые петли; ульнарный петлевой (Lu) – папиллярные линии образуют ульнарно открытые петли; завитковый (W) – папиллярные линии образуют кольца или спирали; переходный или сложный, трудно классифицируемый узор (Lw) [6; 9–10]. Кроме того, определяли гребневой счет – количество папиллярных гребней в поле папиллярного узора.

ра между его центром и трирадиусом (особым анатомическим образованием узора, отделяющим его центральную часть, то есть собственно поле узора, от периферической) [9; 11]. Гребневой счет определяли в поле папиллярного узора каждого из 10-и пальцев. На основе локальных значений вычисляли общий гребневой счет (ОГС) как сумму локальных значений всех пальцевых папиллярных узоров. Сведения о группе крови были получены из медицинских документов (медицинских карт призывников). Для характеристики вариабельности и взаимосвязи исследуемых параметров применяли методы описательной статистики (частотный анализ).

Результаты исследования

Следует отметить, что частота встречаемости различных групп крови в исследованной выборке в целом соответствует литературным сведениям, с учетом изучаемого региона, для которого характерно увеличение

доли лиц со II (A) группой крови при одновременном снижении доли лиц с III (B) и IV (AB) группами [1–2; 5]. Встречаемость групп крови составила 36,4 % для I (O); 50,0 % – для II (A); 9,8 % – для III (B) и 3,7 % – для IV (AB). Частота встречаемости типов папиллярных узоров пальцев рук также соответствует данным научной литературы, с учетом региона, пола и возраста обследованных лиц: для A-узора – 8,4 %, для Lr – 5,6 %, для Lu – 62,1 %, для Lw – 3,1 %, для W – 20,9 % [1; 5; 7–8]. Таким образом, полученные результаты, наряду с объемом исследованного материала, свидетельствуют о репрезентативности исследуемой выборки.

В общей выборке пальцев (без учета руки и пальца) статистически достоверных (на уровне значимости $p < 0,05$) отличий в частоте встречаемости типов папиллярных узоров у носителей I (O) и II (A) групп крови установлено не было (табл. 1).

Таблица 1

Table 1

Основные статистические характеристики типов папиллярных узоров у лиц с I и II группами крови

Basic statistical characteristics of the types of papillary patterns in the samples of the persons with the first and second blood group

Тип узора / The type of a pattern	P _x		m _x		t _{тп}
	I (O)	II (A)	I (O)	II (A)	
A	8,1	7,8	0,4	0,4	0,46
Lr	5,3	5,7	0,4	0,3	-0,77
Lu	62,3	61,7	0,8	0,7	0,57
Lw	3,1	3,2	0,3	0,2	-0,29
W	21,2	21,6	0,6	0,6	-0,43

Примечание: P – частотность признака, %; m – средняя квадратичная ошибка частоты; t – критерий Стьюдента (различия статистически достоверны на уровне $p < 0,05$ при $t \geq 1,96$) / Note: P is the frequency of a trait (%); m is root-mean-square error particular; we use Student's t-test (statistical differences are reliable if $p < 0,05$ at $t \geq 1,96$).



Однако если использовать более чувствительные методические приемы (сравнивать частоту дерматоглифических признаков с учетом руки – правая или левая – и номера пальца), то оказывается, что различия имеются. На указательном пальце левой руки у лиц с I (O) группой достоверно чаще наблюдается L-узор ($40,8 \pm 2,5$ и $33,7 \pm 2,0$ %; $t = 2,22$), этот же тип узора чаще встречается на мизинце данной руки. Кроме того, для носителей I (O) группы крови (в отличие от носителей II (A) группы) характерен W-узор на большом и мизинцевых пальцах левой руки ($18,5 \pm 1,9$ и $14,8 \pm 1,5$ %; $t = 1,72$; $7,0 \pm 1,3$ и $4,6 \pm 0,9$ %; $t = 1,77$ соответственно).

Сравнение частоты встречаемости типов узоров у представителей

I (O) и III (B) групп крови выявляет ряд отличий уже в общей выборке пальцев (табл. 2), что косвенно свидетельствует о большем генетическом расстоянии между ними, чем между представителями I (O) и II (A) групп. По сравнению с III (B) группой крови у представителей I (O) группы достоверно чаще встречается W-узор. Кроме того, имеется тенденция к увеличению доли Lw-узора на фоне уменьшения доли Lu-узора. Локально – более частая встречаемость A-узора ($4,3 \pm 1,0$ и $0,9 \pm 0,9$ %; $t = 2,42$) и W ($41,3 \pm 2,5$ и $31,5 \pm 4,1$ %; $t = 1,97$) на безымянном пальце правой руки; более редкая встречаемость на данном пальце Lu-узора ($50,5 \pm 2,5$ и $64,8 \pm 4,6$ %; $t = -2,74$) и Lr – на среднем пальце левой руки ($1,0 \pm 0,5$ и $5,6 \pm 2,2$ %; $t = -2,02$).

Таблица 2

Table 2

Основные статистические характеристики типов папиллярных узоров у лиц с I и III группами крови

Basic statistical characteristics of the types of papillary patterns in the samples of the persons with the first and third blood group

Тип узора / The type of a pattern	P _x		m _x		t _{I/III}
	I (O)	III (B)	I (O)	III (B)	
A	8,1	8,9	0,4	0,9	-0,84
Lr	5,3	5,6	0,4	0,7	-0,44
Lu	62,3	64,9	0,8	1,5	-1,57
Lw	3,1	2,3	0,3	0,5	1,47
W	21,2	18,2	0,6	1,2	2,21

Как и следовало ожидать, характер различий дерматоглифических признаков между носителями II (A) и III (B) групп крови аналогичен тому, который был обнаружен у представителей

I (O) и III (B) групп (следствие сходства дерматоглифики у представителей I (O) и II (A) групп), с той разницей, что ряд отличий (в частности, по Lu-узору) более достоверен (табл. 3).

Таблица 3

Table 3

**Основные статистические характеристики типов папиллярных узоров
у лиц со II и III группами крови**

**Basic statistical characteristics of the types of papillary patterns in the samples
of the persons with the second and third blood group**

Тип узора / The type of a pattern	P _x		m _x		t _{II/III}
	II (A)	III (B)	II (A)	III (B)	
A	7,8	8,9	0,4	0,9	-1,14
Lr	5,7	5,6	0,3	0,7	0,02
Lu	61,7	64,9	0,7	1,5	-1,98
Lw	3,2	2,3	0,2	0,5	1,73
W	21,6	18,2	0,6	1,2	2,56

При сравнении частоты встречаемости типов узоров у представителей I (O) и IV (AB) групп крови выявляется еще больше отличий (табл. 4), то есть наблюдается закономерное увеличение генетического расстояния, не противоречащее представлению об эволюции групп крови – последовательно от I (O) и II (A) групп к III (B) и IV (AB) [1; 3; 9]. По сравнению с IV (AB) группой крови у носителей I (O) группы не только достоверно чаще встречается W-узор, но и реже наблю-

дается A-узор. Локально эти различия проявляются в той или иной мере на всех пальцах, но наиболее устойчиво – на указательных. Например, на указательном пальце правой руки частотность A-узора равна $17,5 \pm 1,9$ и $34,1 \pm 7,4$ % ($t = -2,18$), а частотность W-узора $-27,8 \pm 2,2$ и $14,6 \pm 5,5$ % ($t = -2,20$) соответственно. Закономерно сходная картина наблюдается при сравнении дерматоглифических признаков в выборке лиц со II (A) и IV (AB) группами крови.

Таблица 4

Table 4

**Основные статистические характеристики типов папиллярных узоров
у лиц с I и IV группами крови**

**Basic statistical characteristics of the types of papillary patterns in the samples
of the persons with the first and fourth blood group**

Тип узора / The type of a pattern	P _x		m _x		t _{I/IV}
	I (O)	IV (AB)	I (O)	IV (AB)	
A	8,1	14,9	0,4	1,8	-3,76
Lr	5,3	6,6	0,4	1,2	-1,01
Lu	62,3	60,2	0,8	2,4	0,82
Lw	3,1	2,4	0,3	0,8	0,82
W	21,2	15,9	0,6	1,8	2,79



Сравнение частоты встречаемости типов узоров у носителей III (B) и IV (AB) групп крови выявляет меньше отличий, при этом и характер их является несколько другим (табл. 5).

По сравнению с III (B) группой крови у представителей IV (AB) группы достоверно чаще встречается только А-узор. Кроме того, присутствует тенденция к уменьшению доли Lu-узора.

Таблица 5

Table 5

**Основные статистические характеристики типов папиллярных узоров
у лиц с III и IV группами крови**

**Basic statistical characteristics of the types of papillary patterns in the samples
of the persons with the third and fourth blood group**

Тип узора / The type of a pattern	P _x		m _x		t _{III/IV}
	III (B)	IV (AB)	III (B)	IV (AB)	
A	8,9	14,9	0,9	1,8	-3,06
Lr	5,6	6,6	0,7	1,2	-0,66
Lu	64,9	60,2	1,5	2,4	1,65
Lw	2,3	2,4	0,5	0,8	-0,14
W	18,2	15,9	1,2	1,8	1,11

Совокупно представляя частотные характеристики типов папиллярных узоров для представителей различных групп крови, можно выстроить их в ряды возрастания и убывания. Например, по А-узору от I (O) и II (A) групп к III (B), а затем к IV (AB) выстраивается ряд возрастания: 8,1 (7,8) – 8,9 – 14,9 %. По W-узору из них же выстраивается асимметричный первому ряд убывания: 21,2 (21,6) – 18,2 – 15,9 %. Соотношение частоты W и А-узоров уменьшается от 2,62 (2,77) до 2,04 и 1,07. При этом, если переход от I (O) и II (A) групп к III (B) сопровождается уменьшением соотношения между ними в 1,28 (1,35) раза, то переход от III (B) группы к IV (AB) – в 1,92 раза, а от I (O) и II (A) групп к IV (AB) – в 2,45 (2,60) раза.

Природа связи групп крови системы АВО с дерматоглифическими признаками, возможно, заключается в том, что наличие или отсутствие на мембранах эритроцитов и других клеток тканей человеческого организма (включая клетки кожи) агглютиноге-

нов А и (или) В влияет на массу клетки, а следовательно, на скорость клеточного митоза в период эмбриогенеза. Другими словами, за один и тот же эмбриональный период формирования гребешковой кожи количество митотических циклов у одних людей превышает аналогичный показатель у других. В результате наблюдаются отличия в гребневой насыщенности поля папиллярного узора, влияющей на формирующийся рисунок (его тип и другие характеристики). Если этот так, то в ряду от I (O) и II (A) групп к III (B), а затем к IV (AB) должен меняться (в сторону уменьшения) еще один дерматоглифический признак – гребневой счет.

В связи с представленной выше гипотезой нами было проведено дополнительное исследование количества папиллярных гребней в поле папиллярного узора между его центром и трирадиусом, а также вычислен ОГС.

В результате было установлено, что среднеарифметическое значение ОГС равно 126,9 (стандартное откло-

нение – 43,9). В выборке лиц с малым (меньше среднего) и большим (больше среднего) значениями счета была определена частота встречаемости групп крови (табл. 6). Как и ожидалось, для представителей I (O) и II (A) групп характерны большие значения ОГС, а у лиц с IV (AB) группой чаще (приблизительно в 2,5 раза) – малые ($6,1 \pm 1,1$ и $2,4 \pm 0,6$ %; $t = 2,86$).

Отсутствие достоверных различий в дерматоглифике пальцев рук между носителями I (O) и II (A) групп крови можно объяснить тем, что при отсутствии на клеточной оболочке антигенов A, вероятно, повышается плотность антигенов других изосерологических систем, ведущая к некоторому компенсаторному увеличению массы клетки.

Таблица 5

Table 5

Частота встречаемости групп крови системы ABO у лиц с малым (↓) и большим (↑) ОГС

The frequency of occurrence of ABO blood groups of in individuals with low (↓) and large (↑) total ridge account (TRA)

Группа крови / Blood group	M _x		m _x		t _{1/1}
	ОГС↓	ОГС↑	ОГС↓	ОГС↑	
I (O)	36,7	38,3	2,3	2,1	-0,49
II (A)	46,3	50,1	2,4	2,1	-1,20
III (B)	10,9	9,3	1,5	1,2	0,83
IV (AB)	6,1	2,4	1,1	0,6	2,86

Полученные данные подтверждают (или, как минимум, не опровергают) выдвинутую нами гипотезу о модифицирующем (супрессорном) влиянии агглютиногенов системы ABO на эмбриогенез гребешковой кожи (наряду с другими факторами, основными из которых являются гены гребешковой кожи [10; 12]). Следует отметить, что сходное объяснение, но в отношении полового диморфизма дерматоглифических признаков, в свое время выдвинула И. С. Гусева [12]. По ее данным, замедление скорости деления клеток пальцевой подушечки эмбриона происходит с накоплением в кариотипе половых хромосом. Например, у мужчин (кариотип XY) в среднем ОГС = 144,9 (была исследована выборка белорусов и русских центральной части России, поэтому среднеарифметическое значение счета больше, чем в исследованной нами выборке русских мужчин, проживающих в Карелии); у женщин

(кариотип XX – более сложный по сравнению с мужским) – 127,8; у больных с синдромом Шерешевского-Тернера (XO) – 158,2; с синдромом Клайнфельтера (XXY) – 117,9.

Обсуждение и заключения

Между дерматоглифическим признаками (типами папиллярных узоров пальцев рук) и группами крови (антигенами системы ABO) существует статистически достоверная связь. Для объяснения ее сущности была выдвинута и нашла ряд подтверждений гипотеза о модифицирующем (супрессорном) влиянии агглютиногенов системы ABO на эмбриогенез гребешковой кожи.

Дерматоглифические признаки могут использоваться в качестве универсального и легко наблюдаемого фенотипического маркера генетического расстояния между любыми группами населения, представляющими научно-практический интерес. Это открывает возможность широкого использования



дерматоглифического метода в системе медико-биологической диагностики и прогнозирования. Наиболее перспективным представляется комплексное применение метода – в совокупности с изосерологическими, лейкоцитарными, сывороточными и другими фенотипическими маркерами.

Также отметим, что согласно полученным данным, характер связи между дерматоглифическим признаками

и группами крови системы АВО косвенно подтверждает имеющееся в современной антропологической науке представление об их эволюции в направлении от I и II к III и IV группам: в этом ряду (на примере молодых русских мужчин) статистически достоверно ($p < 0,05$) последовательное уменьшение доли завитковых папиллярных узоров при одновременном нарастании доли дуговых узоров.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Эфроимсон В. П.** Введение в медицинскую генетику. М. : Наука, 1964. 488 с.
2. **Айкманн Й.** Группа крови / Пер. с нем. СПб. : Весь, 2004. 192 с. URL: http://www.alib.ru/au-ajkmann/nm-gruppa_krovi.
3. Возможности и перспективы дерматоглифики в медицине / А. П. Божченко [и др.] // Военно-медицинский журнал. 2008. № 12. С. 19–24. URL: http://sc.mil.ru/files/morf/military/archive/12_2008.pdf.
4. **D'Adamo P. J.** Cancer and the abo blood groups [Электронный ресурс]. URL: http://www.dadamo.com/science_ABO_cancer.htm (дата обращения: 30.01.2016).
5. **Баранов О. Н.** Группа крови и пальцевая дерматоглифика у больных лепрой Астраханской области : автореф. дисс. ... канд. мед. наук. М., 1982. 20 с. URL: <http://library.odmu.edu.ua/catalog/48302>.
6. **Гладкова Т. Д.** Кожные узоры кисти и стопы обезьяны и человека. М. : Наука, 1966. 151 с. URL: <http://www.twirpx.com/file/1246327>.
7. **Сергиенко Л. П.** Основы спортивной генетики: генетические маркеры в прогнозировании развития двигательных способностей человека. Мат-лы I междунар. науч. конгресса «Спорт и здоровье». СПб, 2003. Т. 2. С. 73–74. URL: <http://lib.sportedu.ru/BiblCard.idc>.
8. **Bener A.** The invertigation of linkage between dermatooglyphics and groups using family dato from three generation. Int. J. Anthropol. 1987. Vol. 2., No. 2. P. 137–140. URL: <http://www.ijtrd.com/papers/IJTRD1360.pdf>.
9. **Божченко А. П., Теплов К. В., Гугнин И. В.** Групповой полиморфизм и изменчивость дерматоглифических признаков пальцев рук и ног; сравнительная характеристика. Судебно-медицинская экспертиза. 2014. № 4. С. 34–40. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22603243>.
10. **Ригонен В. И., Божченко А. П.** Сравнительная характеристика антропометрических и дерматоглифических характеристик русских мужчин призывного возраста, проживающих в Республике Карелия. Современные проблемы науки и образования. 2016. № 2. URL: <http://www.science-education.ru/article/view? Id=2437>.
11. **Holt S.** Epidermal ridge – counts. Coll. Antropol. 1979. Vol. 3, No 1. P. 97–106. URL: [http://collegium.hrvatsko-antropolosko-drustvo.hr/_doc/Coll.%20Antropol.%203%20\(1979\)%201:%2097-106.pdf](http://collegium.hrvatsko-antropolosko-drustvo.hr/_doc/Coll.%20Antropol.%203%20(1979)%201:%2097-106.pdf).
12. **Гусева И. С.** Морфогенез и генетика гребешковой кожи человека. Минск : Беларусь, 1986. 160 с. URL: <http://library.univer.kharkov.ua/OpacUnicode/index.php?url=/notices/index/IdNotice:77412/Source:default>.

Поступила 23.03.2016; принята к публикации 10.05.2016; опубликована онлайн 30.09.2016

Об авторах:

Божченко Александр Петрович, доцент кафедры судебной медицины Военно-медицинской академии имени С. М. Кирова (Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6), доктор медицинских наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7841-0913>**, bozhchenko@mail.ru

Ригонен Владимир Иванович, доцент кафедры анатомии, топографической анатомии и оперативной хирургии, патологической анатомии, судебной медицины ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет» (Россия, г. Петрозаводск, пр. Ленина, д. 33), кандидат медицинских наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5172-0150>**, toxovo09@mail.ru

REFERENCES

1. Yefroimson VP. Vvedeniye v meditsinskuyu genetiku [Introduction to medical genetics] Moscow; Nauka: 1964. Available from: <http://mashok.ru/item>. (In Russ.)
2. Aykmann Y. Gruppa krovi [Blood group]. St. Petersburg: Ves Publ.; 2004. Available from: http://www.alib.ru/au-ajkmann/nm-gruppa_krovi. (In Russ.)
3. Bozhchenko AP, Tolmachev IA, Tolmacheva YeB, et al. Vozmozhnosti i perspektivy dermatoglifiki v meditsine [Opportunities and prospects of dermatoglyphics in medicine]. *Voyenno-meditsinskiy zhurnal* = Military Medical Journal. 2008; 12:19-24. Available from: http://sc.mil.ru/files/morf/military/archive/12_2008.pdf. (In Russ.)
4. D'Adamo PJ. Cancer and the ABO blood groups. Available from: http://www.dadamo.com/science_ABO_cancer.htm.
5. Baranov ON. Gruppa krovi i paltsevaya dermatoglifika u bolnykh leproy Astrakhanskoj oblasti: avtoref. diss. ... kand. med. nauk [Blood group and digital dermatoglyphics in patients with leprosy of Astrakhan region. Abstract of Ph.D. (Medicine) thesis]. Moscow; 1982. Available from: <http://library.odmu.edu.ua/catalog/48302>. (In Russ.)
6. Gladkova TD. Kozhnyye uzory kisti i stopy obezyany i cheloveka [Skin patterns of a hand and a foot of the ape and man]. Moscow: Nauka; 1966. Available from: <http://www.twirpx.com/file/124327>. (In Russ.)
7. Sergiyenko LP. Osnovy sportivnoi genetiki: geneticheskiye markery v prognozirovanii razvitiya dvigatelnykh sposobnostey cheloveka [Essentials of sport genetics: genetic markers in predicting the development of technical abilities of a person]. In: Materialy I mehzdunarodnogo nauchnogo kongressa "Sport i zdorovye" [Proceedings of the 1st international congress "Sport and health"]. St. Petersburg; 2003. 2:73-74. Available from: <http://lib.sportedu.ru/BiblCard.idc>. (In Russ.)
8. Bener A. The investigation of linkage between dermatoglyphics and groups using family data from three generation. *Int. J. Anthropol.* 1987; 2(2):137-140. Available from: <http://www.ijtrd.com/paper/IJTRD1360.pdf>. (In Russ.)
9. Bozhchenko AP, Teplov KV, Gugin IV. Group polymorphism and variability of the dermatoglyphic signs of fingers and toes; comparative characteristic [Gruppovoy polimorfizm i izmenchivost dermatoglificheskikh priznakov paltsev ruk i nog; sravnitel'naya kharakteristika]. *Sudebno-meditsinskaya ekspertiza* = Forensic Medical Expertise. 2014; 4:34-40. Available from: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22603243>. (In Russ.)
10. Rignon VI, Bozhchenko AP. Sravnitel'naya kharakteristika antropometricheskikh i dermatoglificheskikh kharakteristik russkikh muzhchin prizynogo vozrasta v Respublike Kareliya [Comparative characteristic of anthropometric and dermatoglyphic signs in Russian men of military-age living in the Republic of Karelia]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* = Modern problems of science and education. 2016; 2. Available from: <http://www.science-education.ru/article/view?id=2437>. (In Russ.)
11. Holt S. Epidermal ridge- counts. *Coll. Anthropol.* 1979; 3(1):97-106. Available from: [http://collegium.hr/vatsko-antropolosko-drustvo.hr/_doc/Coll.%20Antropol.%203%20\(1979\)%201.%2097-106.pdf](http://collegium.hr/vatsko-antropolosko-drustvo.hr/_doc/Coll.%20Antropol.%203%20(1979)%201.%2097-106.pdf).
12. Guseva IS. Morfogenez i genetika grebeshkovoi kozhi cheloveka [Morphogenesis and genetics of



human crest skin]. Minsk: Belarus Publ., 1986. Available from: <http://library.univer.kharkov.ua/OpacUnicode/index.php?url=/notices/index/IdNotice:77412/Source:default>. (In Russ.)

Submitted 23.03.2016; accepted 10.05.2016; published online 30.09.2016

About the authors:

Aleksandr P. Bozhchenko, docent of Forensic Medicine chair, Military Medical Academy (6, Akademika Lebedeva St., St. Petersburg, Russia), Dr.Sci. (Medicine), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-7841-0913>, bozhchenko@mail.ru

Vladimir I. Rigonen, docent of Anatomy chair, Topographical Anatomy and Operative Surgery, Pathological Anatomy, Forensic Medicine, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Petrozavodsk State University" (33, Lenina St., Petrozavodsk, Russia), Ph.D. (Medicine), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-5172-0150>, toxovo09@mail.ru

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ПЕЧЕНИ И ПОЧЕК ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МИНИИНВАЗИВНЫХ ХИРУРГИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЛЕЧЕНИИ ПЕРИТОНИТА

Е. К. Салахов¹, А. П. Власов²

¹ГАОУЗ «Менделеевская ЦРБ» (г. Менделеевск, Россия)

²ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)

Цель исследования – оценка функционального состояния печени и почек у пациентов, которым была проведена программная лапароскопическая санация брюшной полости с применением энергии низкочастотного ультразвука, и пациентов, перенесших релапаротомию по поводу прогрессирования распространенного перитонита.

Материалы и методы. Был проведен анализ лечения 36 больных перитонитом различного генеза (основная группа), к которым были применены программированные лапароскопические санации с использованием ультразвука, и 56 пациентов, подвергшихся программированной релапаротомии (группа сравнения). Кроме этого, проводился мониторинг печеночно-почечной дисфункции, эндогенной интоксикации.

Результаты исследования. Было выявлено, что при использовании лапароскопических санаций с ультразвуком в раннем послеоперационном периоде наблюдаются достоверно лучшие показатели работы печени и почек, о чем свидетельствует достоверное уменьшение выраженности синдрома эндогенной интоксикации, и следовательно, сравнительно лучшие клинические результаты (сокращение срока пребывания больных в стационаре на 6,4 койко-дня, уменьшение летальности на 7,4 %).

Ключевые слова: перитонит, печеночно-почечная дисфункция, эндотоксикоз, лапароскопическая санация, низкочастотный ультразвук, санация брюшной полости, релапаротомия, дренирование брюшной полости

Для цитирования: Салахов Е. К., Власов А. П. Функциональное состояние печени и почек при применении миниинвазивных хирургических технологий в лечении перитонита. Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 3. С. 402–410. DOI: 10.15507/0236-2910.026.201603.402-410

FUNCTIONAL CONDITION OF A LIVER AND KIDNEYS AT APPLICATION OF MINIINVASIVE MEDICAL TECHNOLOGIES IN TREATMENT OF PERITONITIS

Ye. K. Salakhov^a, A. P. Vlasov^b

^aCentral District Hospital of Mendeleyevsk (Mendeleyevsk, Russia)

^bNational Research Mordovia State University (Saransk, Russia)

Introduction. The article deals with the assessment of the functional state of the liver and kidneys in patients who underwent laparoscopic sanitation program of the abdominal cavity with the use of low-frequency ultrasound energy, and in patients undergoing relaparotomy about the progression of diffuse peritonitis.

Materials and Methods. The analysis of treatment of 36 patients with peritonitis of various origins (the main group), which were applied programmed laparoscopic rehabilita-



tion using ultrasound, and 56 patients who underwent programmed relaparotomy (control group) was performed.

Results. It was found that when using the laparoscopic sanations with ultrasound in the early postoperative period observed significantly better indicators of liver and kidney failure, which resulted in an authentic decrease in the severity of endogenous intoxication syndrome, and therefore relatively better clinical outcome (shorten hospital stay 6, 4 bed days, reduced mortality by 7,4 %).

Keywords: peritonitis, renal and hepatic dysfunction, endotoxemia, laparoscopic sanitation, low-frequency ultrasound, rehabilitation of abdominal relaparotomy, abdominal drainage

For citation: Salakhov YeK, Vlasov AP. Functional condition of a liver and kidneys at application of miniinvasive medical technologies in treatment of peritonitis. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2016; 3(26):402-410. DOI:10.15507/0236-2910.026.201603.402-410

Введение

Несмотря на развитие новых и совершенствование существующих методов хирургического лечения и использование арсенала средств современной интенсивной терапии, летальность при распространенном перитоните сохраняется на достаточно высоком уровне [1].

Санация брюшной полости представляет собой один из основных этапов комплексного лечения распространенных форм перитонита, и именно качество проведения данной процедуры в большинстве случаев определяет динамику патологического процесса и исход заболевания [2].

Одним из актуальных методов санации брюшной полости является дренирование, в том числе его разновидность – активное аспирационное дренирование. Существует 3 главных требования к данному методу: герметизация, аспирация и промывание участка дренирования. Главное преимущество метода – более быстрое и полное удаление патологического экссудата по сравнению с пассивным дренированием. Исследования продемонстрировали, что аспирационно-промывное дренирование препятствует распространению гнойной инфекции, уменьшает эндогенную интоксикацию [3].

Принято считать, что активное дренирование брюшной полости обладает большим эффектом при перитоните из-за возможности применения одной или двухпросветных дренажных систем. Однако несмотря на явные досто-

инства метода, при применении аспирационного промывного дренирования нельзя избежать недостатков, свойственных закрытым дренажным системам, которые заключаются в ограничении зоны действия вводимых антисептиков [1]. Кроме того, использование данного варианта дренирования сдерживается существующим среди хирургов мнением, что отрицательное давление в дренажной системе содействует закупорке отверстий дренажа окружающими тканями и органами [4].

В настоящее время многие авторы отдают предпочтение лапароскопической санации брюшной полости, принимая ее за альтернативу метода программированных ревизий и санаций брюшной полости. Малая травматичность и высокая эффективность данного метода при распространенном перитоните позволяют избежать ряда осложнений (эвентраций, кишечных свищей, нагноений послеоперационных лапароскопических ран), что значительно снижает процент неблагоприятных исходов и сокращает срок пребывания больных в стационаре [5].

Наиболее популярными являются 2 варианта лапароскопической санации – механическое воздействие рас-

избегать неблагоприятных последствий распространенного перитонита удается не всегда [6].

Одним из критериев эффективности санаций брюшной полости является динамика эндоинтоксикации, которая во многом зависит от функционального состояния органов естественной системы детоксикации. При тяжелых формах перитонита оно угнетается, и на определенных этапах патологического процесса в крови, оттекающей от печени, легких и почек, уровень токсических продуктов соответствует или даже превышает аналогичный показатель в притекающей крови [7–8].

Сопутствующая эндоинтоксикозу тканевая гипоксия и блокада митохондриальных ферментов приводит к нарушению окислительного фосфорилирования и функциональным нарушениям на органном уровне, в том числе печени и почек [9–10]. Нарушение функции органов детоксикации и выделения утяжеляет эндоинтоксикацию и создает благоприятную почву для развития осложнений [11]. При острой абдоминальной хирургической патологии осложнения со стороны печени, обусловленные эндоинтоксической агрессией, встречаются в 28–30 %, со стороны почек – в 16–43 %, а сочетанные печеночно-почечные нарушения – в 45–50 % [2]. Именно поэтому поиск эффективных способов восстановления (предупреждения прогрессирования) их функционального состояния остается перспективным до настоящего времени.

Цель исследования – оценить эффективность миниинвазивных хирургических технологий и ультразвуковой обработки брюшной полости в коррекции функционального состояния печени и почек при остром перитоните.

Материалы и методы

Оценке были подвергнуты результаты хирургического лечения 92 больных послеоперационным перитонитом в возрасте от 17 до 74 лет, находи-

вшихся на лечении в ГАУЗ «Менделеевская ЦРБ» в период с 2010 по 2016 гг. В зависимости от хирургической тактики ведения послеоперационного перитонита пациенты были разделены на 2 группы. Основную группу составили 36 пациентов, которые нуждались в программируемых санациях после первичной лапаротомии. При их лечении применялась лапароскопическая санация ирригационно-аспирационным устройством. После лапароскопического лаважа проводилась лапароскопическая обработка низкочастотным ультразвуком. Максимальное количество проведенных санаций – 4 (в среднем $2,5 \pm 0,6$ процедур). В группу сравнения вошли 56 пациентов, которым после первичной лапаротомии выполняли программированные релапаротомии (в среднем – $2,4 \pm 0,4$).

Результаты лечения оценивались по рутинным показателям функции кишечника, печени (активность аламин- и аспирагинаминотрансфераз, щелочной фосфатазы, содержание билирубина, альбумина) и почек (уровень креатинина, мочевины), уровню токсических продуктов гидрофильной и гидрофобной природы (молекул средней массы при длине волны 254 нм и индекса токсичности плазмы по альбумину путем определения эффективной и общей концентраций альбумина флуоресцентным методом на специализированном анализаторе АКЛ-01 «Зонд»), а также ряду клинических данных (продолжительность пребывания больного в стационаре, послеоперационные осложнения, летальность).

Статистическая обработка полученных данных была произведена с помощью программы «Microsoft Excel 2007» и статистического пакета «SPSS 11.5». При расчетах использовались такие показатели как выборочная средняя и средняя квадратическая ошибка ($M \pm m$), критерий ХИ-квадрат (χ^2). Достоверными считались результаты при $p < 0,05$, что является обще-



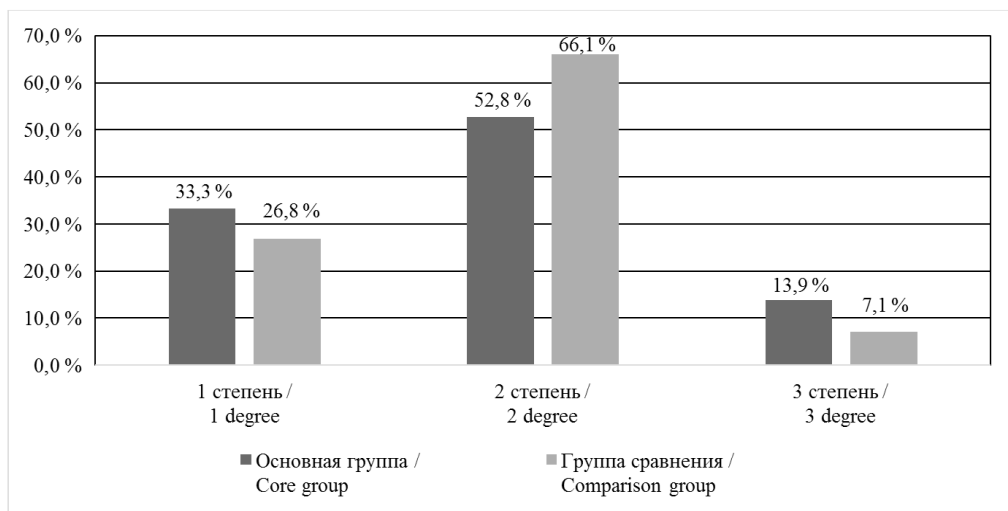
принятым при проведении медицинских научных исследований.

Результаты исследования

При оценке гендерного распределения пациентов по группам было выявлено, что в основную группу входили 26 женщин (72,2 %) и 10 мужчин (27,8 %); в группе сравнения также преобладали женщины – 34 человек (60,7 %, $p = 0,258$). Таким образом, достоверных различий по гендерному признаку между группами выявлено не было.

Отсутствовали достоверные различия и в среднем возрасте пациентов: в основной группе он составил $44,2 \pm 5,5$, в группе сравнения – $42,3 \pm 4,8$ ($p = 0,675$).

Оценка тяжести перитонита по Мангеймскому перитонеальному индексу (МПИ) показала, что средний показатель в обеих группах практически не отличался и составлял $23,7 \pm 2,4$ и $22,9 \pm 2,6$ ($p = 0,703$) соответственно (рис. 1).



Р и с. 1. Распределение пациентов по степени тяжести по МПИ
F i g. 1. The distribution of patients according to severity MPI

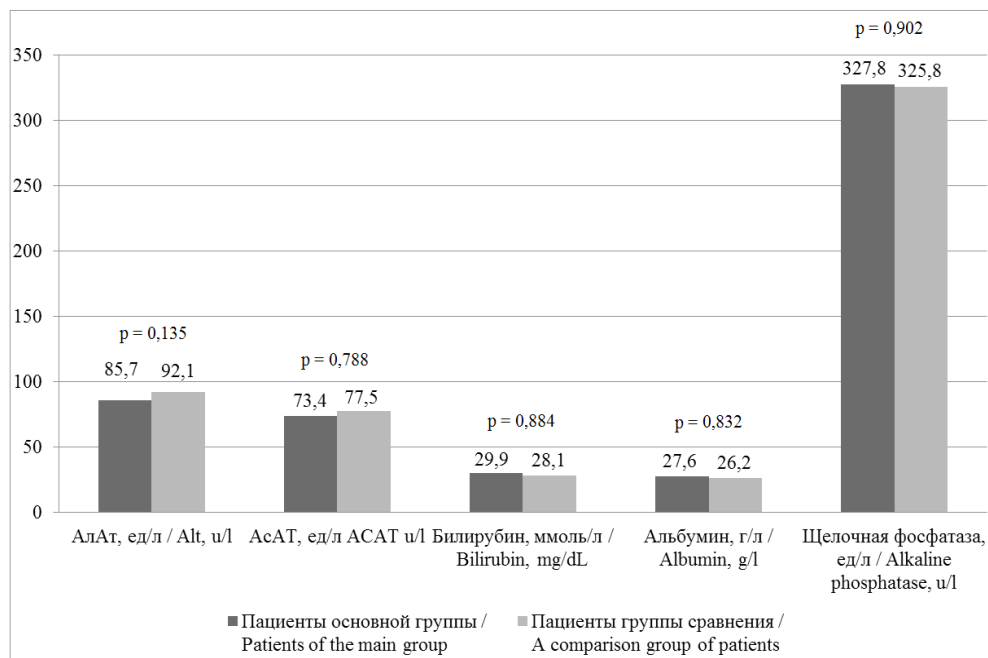
Таким образом, пациенты в группах были сопоставимы по полу, возрасту и тяжести протекания перитонита (по МПИ).

Дооперационные показатели печеночной функции в обеих группах не отличались (рис. 2).

Показатели функции почек до операции также не имели достоверных различий. Средний уровень мочевины составил $10,4 \pm 2,3$ ммоль/л в основной группе и $11,3 \pm 2,0$ ммоль/л –

в контрольной ($p = 0,132$); уровень креатинина – $129,3 \pm 12,8$ мкмоль/л и $133,2 \pm 8,4$ мкмоль/л ($p = 0,233$) соответственно.

После проведения лапароскопических санаций с использованием ультразвука у пациентов основной группы и программированных релaparотомий у пациентов группы сравнения было произведено повторное определение функциональных характеристик печени и почек (табл. 1–2).



Р и с. 2. Показатели функции печени у пациентов до операции

F i g. 2. Indicators of liver function in patients before surgery

Т а б л и ц а 1

T a b l e 1

**Показатели эндогенной интоксикации у больных перитонитом
в послеоперационном периоде**

Indicators of endogenous intoxication in patients with peritonitis in the postoperative period

Показатель / Index	Группа / Group	Послеоперационный период, сут. / The postoperative period, days			
		1-е / 1st	3-и / 3rd	5-е / 5th	10-е / 10th
1	2	3	4	5	6
АлАт, ед/л / Alt, u/l	Сравнения / Comparison	85,0 ± 7,3	80,6 ± 5,5	75,8 ± 3,9	65,6 ± 6,0
	Основная / Basic	80,9 ± 4,0	73,8 ± 6,1	63,7 ± 3,9	50,7 ± 4,7
АсАт, ед/л / ACAT u/l	Сравнения / Comparison	74,0 ± 6,1	63,6 ± 5,5	51,8 ± 3,9	47,5 ± 4,1
	Основная / Basic	70,1 ± 3,0	56,8 ± 6,1	45,7 ± 3,9	40,5 ± 3,7
Билирубин, ммоль/л Bilirubin, mg/dL	Сравнения / Comparison	27,8 ± 4,0	26,8 ± 3,1	24,7 ± 3,9	23,1 ± 2,7
	Основная / Basic	26,0 ± 3,0	21,6 ± 3,5	20,8 ± 3,9	18,9 ± 2,0



Окончание табл. 1 / End of table 1

1	2	3	4	5	6
Альбумин, г/л Albumin, g/l	Сравнения / Comparison	28,3 ± 3,1	31,4 ± 2,1	34,5 ± 1,2	39,1 ± 4,0
	Основная / Basic	29,0 ± 2,3	33,8 ± 3,5	42,1 ± 3,2	45,6 ± 5,0
Щелочная фос- фатаза, ед/л / Alkaline phosphatase, u/l	Сравнения / Comparison	309,9 ± 34,0	280,5 ± 22,3	269,1 ± 23,5	260,7 ± 24,7
	Основная / Basic	305,0 ± 27,3	262,4 ± 3,8	246,7 ± 35,1	235,6 ± 26,0

Полужирный шрифт – достоверное различие между данными основной группы и группы сравнения при $p < 0,05$ / Bold – a significant difference between the main group and the comparison group at $p < 0,05$

Таблица 2

Table 2

**Показатели эндогенной интоксикации у больных перитонитом
в послеоперационном периоде**

Indicators of endogenous intoxication in patients with peritonitis in the postoperative period

Показатель / Index	Группа / Group	Послеоперационный период, сут. / The postoperative period, days			
		1-е	3-и	5-е	10-е
Мочевина, ммоль/л / Urea, mmol/l	Сравнения / Comparison	10,2 ± 0,9	6,7 ± 0,7	5,3 ± 1,1	2,8 ± 0,9
	Основная / Basic	9,4 ± 1,2	7,1 ± 0,5	6,2 ± 0,7	5,4 ± 1,3
Креатинин, мкмоль/л / Creatininus, mmol/l	Сравнения / Comparison	103,9 ± 15,5	101,2 ± 9,3	93,8 ± 11,0	90,8 ± 10,2
	Основная / Basic	108,2 ± 8,4	103,9 ± 6,1	96,2 ± 8,1	79,3 ± 10,8

Полужирный шрифт – достоверное различие между данными основной группы и группы сравнения при $p < 0,05$ / Bold – a significant difference between the main group and the comparison group at $p < 0,05$

Таким образом, наилучшие результаты были выявлены у пациентов основной группы.

Поскольку нарушение моторной деятельности желудочно-кишечного тракта сопровождает практически каждое оперативное вмешательство на органах брюшной полости, нами также были оценены сроки восстановления моторики кишечника. Несмотря на отсутствие достоверных различий, была выявлена тенденция к снижению этих

сроков у пациентов основной группы – $2,6 \pm 0,5$ против $3,1 \pm 0,6$ дней ($p = 0,062$) у больных группы сравнения.

Эффективная санация брюшной полости и сравнительно быстрое восстановление функции печени и почек обуславливали также существенное снижение выраженности синдрома эндогенной интоксикации в раннем послеоперационном периоде. Так, уровень токсических продуктов гидрофильной природы, оцененный по

содержанию молекул средней массы, был достоверно ниже группы сравнения через трое суток на 38,9 % ($p < 0,05$), а гидрофобных, оцененных по индексу токсичности плазмы по альбумину, – на 21,7 % ($p < 0,05$) уже через сутки после операции (табл. 1).

Безусловно, важнейшим показателем эффективности лечения является летальность, которая, как указано выше, при остром перитоните сохраняется на достаточно высоком уровне. У пациентов основной группы показатель послеоперационной летальности составил 19,4 % (7 чел.), в группе сравнения – 26,8 % (12 чел.) ($\chi^2 = 0,648$, $p = 0,420$).

Сравнительно высокая результативность разработанного способа хирургической терапии выразилась и в достоверном уменьшении продолжительности пребывания больных в стационаре. Так, у больных основной группы она составила $18,9 \pm 2,4$ койко-дня, тогда как в группе сравнения – $25,3 \pm 1,9$ ($p = 0,033$) койко-дня.

Достоверные различия показателей печеночной функции, лучшие показатели летальности у пациентов основной группы позволяют заключить, что данный вариант лечебной схемы способствует наилучшим результатам в послеоперационном периоде.

Обсуждение и заключения

В настоящее время существует множество вариантов ведения пациентов при релапаротомии, в том числе использование лаважа брюшной поло-

сти, применение различных физических методов (лазерного, ультрафиолетового облучения брюшной полости, обработка ультразвуком), введение лекарственных препаратов. Однако, к сожалению, достичь удовлетворительных результатов лечения удается далеко не всегда [5].

В результате исследования было подтверждено ухудшение показателей работы печени и почек вследствие развития перитонита, что соответствует данным литературы, согласно которым при данной патологии происходит повышение уровня токсических продуктов в плазме крови. Кроме этого, отмечается рост уровня креатинина, билирубина молекул средней массы и индекса токсичности плазмы; повышается активность внутриклеточных ферментов, что свидетельствует о прогрессировании цитолитического синдрома [Там же].

Для нивелирования данных осложнений был предложен новый способ ведения больных перитонитом в раннем послеоперационном периоде: применение лапароскопической санации ирригационно-аспирационным устройством и программированные лапароскопические санации брюшной полости с использованием низкочастотного ультразвука. Данная терапия обуславливала сравнительно быстрое восстановление функции печени и почек, что способствовало купированию синдрома эндотоксикации, и, следовательно, лучшим клиническим показателям.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Салахов Е. К., Власов А. П.** Способы санации брюшной полости при распространенных формах перитонита. Современные проблемы науки и образования. 2014. № 1. С. 157–164. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/programmirovannye-laparoskopicheskie-sanatsii-bryushnoy-polosti-u-bolnyh-s-rasprostranennymi-formami-peritonita>.
2. **Бабаджанов Б. Д., Тешаев О. Р., Бекетов Г. И.** Новые подходы к лечению послеоперационных перитонитов. Вестник хирургии им. И. И. Грекова. 2002. № 4. С. 25–28. URL: mrsu.ru/getfile.php?ID=47027.



3. **Томнюк Н. Д., Данилина Е. П., Черных А. Н.** Перитонит как одна из причин летальных исходов. Современные наукоемкие технологии. 2010. № 10. С. 81–84. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/peritonit-kak-odna-iz-osnovnyh-prichin-letalnyh-ishodov>.
4. **Брискин А. С., Савченко З. И., Хачатрян Н. Н.** Абдоминальный сепсис, роль антибактериальной терапии. Хирургия. 2002. № 4. С. 69–74. URL: science-education.ru/article/view?id=12125.
5. **Салахов Е. К.** К вопросу о дренировании брюшной полости. Казанский медицинский журнал. 2012. № 4. С. 671–674. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-drenirovanii-bryushnoy-polosti>.
6. **Малков И. С., Салахов Е. К.** Лапароскопическая санация брюшной полости в комплексном лечении больных с распространенным перитонитом. Казанский медицинский журнал. 2012. Т. 93, № 2. С. 287–289. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/laparoskopicheskaya-sanatsiya-bryushnoy-polosti-v-kompleksnom-lechenii-bolnyh-s-rasprostranennym-peritonitom>.
7. **Власова Т. И., Власов А. П., Трофимов В. А.** Роль органного липидного дистресс-синдрома в прогрессировании эндогенной интоксикации. Фундаментальные исследования. 2014. № 10. С. 1699–1703. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/rol-organnogo-lipidnogo-distress-sindroma-v-progressirovanii-endogennoy-intoksikatsii>.
8. **Чернов В. Н., Белик Б. М., Ефанов С. Ю.** Патогенез нарушения висцеральных функций при распространенном перитоните. Вестник хирургии им. И. И. Грекова. 2014. Т. 173, № 4. С. 35–38. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/printsipy-lecheniya-bolnyh-abdominalnym-sepsisom-na-osnove-novyh-dannyh-patogeneza-zabolevaniya>.
9. **Переходов С. Н., Милюков В. Е., Телепанов Д. Н.** Некоторые аспекты патогенеза полиорганной недостаточности при острой кишечной непроходимости. Хирургия. 2010. № 6. С. 70–72. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/pechenochnaya-nedostatochnost-pri-ostroy-tonkakishechnoy-neprohodimosti>.
10. **Legrand M., Bezemer R., Kandil A.** The role of renal hypoperfusion in development of renal microcirculatory dysfunction in endotoxemic rats. Intensive Care Med. 2011. Vol. 37, No. 9. P. 1534–1542. URL: http://icmjournal.esicm.org/journals/abstract.html?v=38&j=134&i=2&a=2425_10.1007_s00134-011-2425-8&doi=
11. **Фастова И. А.** Факторы, влияющие на развитие полиорганной недостаточности и увеличения риска летальных исходов при перитоните. Вестник новых медицинских технологий. 2011. Т. 18, № 2. С. 80–83. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/factory-vliyayushchie-na-razvitie-poliorgannoy-nedostatochnosti-i-uvelicheniya-riska-letalnyh-ishodov-pri-peritonite>.
12. **Johnson C. D.** Persistent organ failure during the first week as a marker of fatal outcome in acute pancreatitis. Gut. 2004. Vol. 53. P. 1340–1344. DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/gut.2004.039883>.

Поступила 07.04.2016; принята к публикации 31.05.2016; опубликована онлайн 30.09.2016

Об авторах:

Салахов Ерикен Калымгиреевич, заместитель главного врача по медицинской части, заведующий хирургическим отделением ГАУЗ «Менделеевская ЦРБ» (Россия, г. Менделеевск, ул. Северная, д. 7), кандидат медицинских наук, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2119-8020>, eriken@yandex.ru

Власов Алексей Петрович, заведующий кафедрой факультетской хирургии Медицинского института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), доктор медицинских наук, профессор, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4731-2952>, vap.61@yandex.ru

REFERENCES

1. Salakhov YeK, Vlasov AP. Sposoby sanatsii bryushnoy polosti pri rasprostranennykh formakh peritonita [Methods for rehabilitation of the abdominal cavity with common forms of peritonitis]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* = Modern Problems of Science and Education. 2014; 1:157-164. Available from: <http://cyberleninka.ru/article/n/programmirovannyye-laparoskopicheskie-sanatsii-bryushnoy-polosti-u-bolnyh-s-rasprostranennymi-formami-peritonita>. (In Russ.)

2. Babadzhanyan BD, Teshayev OR, Beketov GI. Novyye podkhody k lecheniyu posleoperatsionnykh peritonitov [New approaches to treatment of postoperative peritonitis]. *Vestnik khirurgii im. I. I. Grekova* = Grekov Journal of Surgery. 2002; 4:25-28. Available from: mrsu.ru/getfile.php?ID=47027. (In Russ.)
3. Tomnyuk ND, Danilina YeP, Chernykh AN. Peritonit kak odna iz prichin letalnykh iskhodov [Peritonitis as one of the causes of deaths]. *Sovremennyye naukoemkiye tekhnologii* = Modern high technologies. 2010; 10:81-84. Available from: <http://cyberleninka.ru/article/n/peritonit-kak-odna-iz-osnovnykh-prichin-letalnykh-ishodov>. (In Russ.)
4. Briskin AS, Savchenko ZI, Khachatryan NN. Abdominalnyy sepsis, rol antibakterialnoy terapii [Abdominal sepsis, role of antibiotic therapy]. *Khirurgiya* = Surgery. 2002; 4:69-74. Available from: science-education.ru/article/view?id=12125. (In Russ.)
5. Salakhov YeK. K voprosu o drenirovani bryushnoy polosti [On the issue of drainage of the abdominal cavity]. *Kazanskiy meditsinskiy zhurnal* = Kazan Medical Journal. 2012; 4:671-674. Available from: <http://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-drenirovani-bryushnoy-polosti>. (In Russ.)
6. Malkov IS, Salakhov YeK. Laparoskopicheskaya sanatsiya bryushnoy polosti v kompleksnom lechenii bolnykh s rasprostranennym peritonitom [Laparoscopic sanitation of the abdominal cavity in the complex treatment of patients with generalized peritonitis]. *Kazanskiy meditsinskiy zhurnal* = Kazan Medical Journal. 2012; 2(93):7-289. Available from: <http://cyberleninka.ru/article/n/laparoskopicheskaya-sanatsiya-bryushnoy-polosti-v-kompleksnom-lechenii-bolnykh-s-rasprostranennym-peritonitom>. (In Russ.)
7. Vlasova TI, Vlasov AP, Trofimov VA. Rol organogo lipidnogo distress-sindroma v progressirovani endogennoy intoksikatsii [The role of the lipid distress syndrome in the progression of endogenous intoxication]. *Fundamentalnyye issledovaniya* = Fundamental Research. 2014; 10:1699-1703. Available from: <http://cyberleninka.ru/article/n/rol-organnogo-lipidnogo-distress-sindroma-v-progressirovani-endogennoy-intoksikatsii>. (In Russ.)
8. Chernov VN, Belik BM, Yefanov SYu. Patogeneza narusheniya vistseralnykh funktsiy pri rasprostranennom peritonite [Pathogenesis of disturbances of visceral functions at a widespread peritonitis]. *Vestnik khirurgii im. I. I. Grekova* = Grekov Journal of Surgery. 2014; 4(173):35-38. Available from: <http://cyberleninka.ru/article/n/printsiipy-lecheniya-bolnykh-abdominalnym-sepsisom-na-osnove-novykh-dannykh-patogeneza-zabolevaniya>. (In Russ.)
9. Perekhodov SN, Milyukov VYe, Telepanov DN. Nekotoryye aspekty patogeneza poliorganoy nedostatochnosti pri ostroy kishechnoy neprokhodimosti [Some aspects of the pathogenesis of multiple organ failure in acute intestinal obstruction]. *Khirurgiya* = Surgery. 2010; 6:70-72. Available from: <http://cyberleninka.ru/article/n/pechenochnaya-nedostatochnost-pri-ostroy-tonkokishechnoy-neprokhodimosti>. (In Russ.)
10. Legrand M, Bezemer R, Kandil A. The role of renal hypoperfusion in development of renal microcirculatory dysfunction in endotoxemic rats. *Intensive Care Med*. 2011; 9(37):1534-1542. Available from: http://icmjournal.esicm.org/journals/abstract.html?v=38&j=134&i=2&a=2425_10.1007_s00134-011-2425-8&doi.
11. Fastova IA. Faktory, vliyayushchiye na razvitiye poliorganoy nedostatochnosti i uvelicheniya riska letalnykh iskhodov pri peritonite [Factors affecting the development of multiple organ failure and increased risk of deaths in peritonitis]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy* = Mew Medical Technologies Bulletin. 2011; 2(18):80-83. Available from: <http://cyberleninka.ru/article/n/factory-vliyayushchie-na-razvitiye-poliorganoy-nedostatochnosti-i-uvelicheniya-riska-letalnykh-ishodov-pri-peritonite>. (In Russ.)
12. Johnson CD. Persistent organ failure during the first week as a marker of fatal outcome in acute pancreatitis. *Gut*. 2004; 53:1340-1344. Available from: <http://dx.doi.org/10.1136/gut.2004.039883>.

Submitted 07.04.2016; accepted 31.05.2016; published online 30.09.2016

About the authors:

Yeriken K. Salakhov, deputy chief physician at the medical unit, head of the surgical department of the Central District Hospital of Mendeleyevsk (7, Mendeleyevsk, Severnaya St., Russia), Ph.D. (Medicine), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2119-8020>, eriken@yandex.ru

Aleksey P. Vlasov, head of Faculty Surgery chair, Medical Institute, National Research Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St, Saransk, Russia), Dr.Sci. (Medicine), professor, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4731-2952>, vap.61@yandex.ru



Информация для авторов и читателей

1. Редакция журнала «Вестник Мордовского университета» принимает оригинальные научные статьи на русском и английском языках, соответствующие профилю Журнала и отражающие результаты теоретических и/или экспериментальных исследований авторов (а также хронику, рецензии и обзоры) кандидатов и докторов наук, преподавателей, аспирантов и студентов старших курсов (в соавторстве) по следующим направлениям:

- 01.04.00 Физика
- 05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление
- 05.20.00 Процессы и машины агроинженерных систем
- 14.01.00 Клиническая медицина
- 14.03.00 Медико-биологические науки

Не допускается направление в редакцию уже опубликованных статей или статей, отправленных на публикацию в другие журналы. Мониторинг несанкционированного цитирования осуществляется с помощью систем «Антиплагиат» и «CrossCheck». Журнал приветствует статьи, имеющие потенциально высокий импакт-фактор и/или содержащие материал о значительных достижениях в указанных направлениях.

2. Особое внимание следует уделить качеству перевода. Желательно, чтобы он был выполнен носителем английского языка.

3. Необходимо указать **УДК** (<http://www.udk-codes.net>).

4. **Заголовок статьи** должен кратко (не более 10 слов) и точно отражать содержание статьи, тематику и результаты проведенного научного исследования. *Приводится на русском и английском языках.*

5. **Аннотация** (200–250 слов) выполняет функцию расширенного названия статьи и повествует о ее содержании. В ней должны быть четко обозначены следующие составные части:

- 1) Введение (Introduction);
- 2) Материалы и методы (Materials and Methods);
- 3) Результаты исследования (Results);
- 4) Обсуждение и заключения (Discussion and Conclusions).

Приводится на русском и английском языках.

6. **Ключевые слова** (5–10) являются поисковым образом научной статьи. В связи с этим, они должны отражать основные положения, достижения, результаты, терминологию научного исследования. *Приводятся на русском и английском языках.*

7. **Благодарности.** В этом разделе следует упомянуть людей, помогавших автору подготовить настоящую статью, организации, оказавшие финансовую поддержку. Хорошим тоном считается выражение благодарности анонимным рецензентам. *Приводятся на русском и английском языках.*

8. **Основной текст** статьи излагается на русском или английском языках.

1) Введение (1–2 стр.) – постановка научной проблемы, ее актуальность, связь с важнейшими задачами, которые необходимо решить, значение для развития определенной отрасли науки или практической деятельности.

2) Обзор литературы (1–2 стр.). Необходимо описать основные (последние по времени) исследования и публикации, на которые опирается автор; современные взгляды на проблему; трудности при разработке данной темы; выделение нерешенных вопросов в пределах общей проблемы, которым посвящена статья.

3) Материалы и методы (1–2 стр.). В данном разделе описываются процесс организации эксперимента, примененные методики, использованная аппаратура; даются подробные сведения об объекте исследования; указывается последовательность выполнения исследования и обосновывается выбор используемых методов (наблюдение, опрос, тестирование, эксперимент, лабораторный опыт и т. д.).

4) Результаты исследования. Это основной раздел, цель которого – при помощи анализа, обобщения и разъяснения данных доказать рабочую гипотезу (гипотезы). Результаты исследования должны быть изложены кратко, но при этом содержать достаточно информации для оценки сделанных выводов. Также должно быть обосновано, почему для анализа были выбраны именно эти данные. **Все названия, подписи и структурные элементы графиков, таблиц, схем и т. д. оформляются на русском и английском языках.**

5) Обсуждение и заключения. В данном разделе суммируются результаты осмысления темы, делаются выводы, обобщения и рекомендации, вытекающие из работы, подчеркивается их практическая значимость, а также определяются основные направления для дальнейшего исследования в этой области.

9. **Список использованных источников** (оформляется в соответствии с требованиями ГОСТа Р 7.0.5–2008). Ссылаться нужно в первую очередь на оригинальные источники из научных журналов, включенных в глобальные индексы цитирования. Желательно использовать 30–40 источников. Из них за последние 3 года – не менее 20, иностранных – не менее 15. Следует указать DOI или адрес доступа в сети Интернет. *Оформляется на русском и английском языках.*

10. **Аффилиация авторов.** Ф.И.О., организация(и), адрес организации(й) (требуется указать все места работы автора, в которых выполнялись исследования (постоянное место, место выполнения проекта и др.)), должность и ученое звание, ORCID ID, Researcher ID, электронная почта, телефон, почтовый адрес для отправки авторского экземпляра. *Приводится на русском и английском языках.*

11. **Вклад соавторов.** В конце рукописи необходимо включить примечания, в которых разъясняется фактический вклад каждого соавтора в выполненную работу. *Приводится на русском и английском языках.*

При подаче статьи в редакцию автор соглашается с положениями размещенного на сайте лицензионного договора.

В журнале «Вестник Мордовского университета» принято «двустороннее слепое» рецензирование (рецензент и автор не знают имен друг друга; срок действия рецензии – 1 год).

Рецензент на основании анализа статьи принимает решение или рекомендовать ее к публикации (без доработки или с доработкой), или о ее отклонении. В случае несогласия автора статьи с замечаниями рецензента его мотивированное заявление рассматривается редакционной коллегией.

Политика редакционной коллегии журнала базируется на современных юридических требованиях в отношении клеветы, авторского права, законности и плагиата, поддерживает Кодекс этики научных публикаций, сформулированный Комитетом по этике научных публикаций, и строится на с учетом этических норм работы редакторов и издателей, закрепленных в Кодексе поведения и руководящих принципах наилучшей практики для редактора журнала и Кодексе поведения для издателя журнала, разработанных Комитетом по публикационной этике (COPE).

Допускается свободное воспроизведение материалов журнала в личных целях и свободное использование в информационных, научных, учебных и культурных целях в соответствии со ст. 1273 и 1274 гл. 70 ч. IV Гражданского кодекса РФ. Иные виды использования возможны только после заключения соответствующих письменных соглашений с правообладателем.

Электронные версии статей размещаются на сайте Научной электронной библиотеки. Журнал распространяется по подписке, заявкам высших учебных заведений, учреждений образования и отдельных лиц, а также путем рассылки номеров наложенным платежом.

Вдовин Сергей Михайлович – главный редактор. Тел.: +7 (8342) 24-48-88.

Полутин Сергей Викторович – заместитель главного редактора. Тел.: +7 (8342) 32-81-57.

Гордина Светлана Викторовна – ответственный секретарь. Тел.: +7 (8342) 48-14-24.



Information for authors and readers of the journal

1. “Mordovia University Bulletin” accepts scholarly articles and debatable academic materials in Russian, English from holders of the following degrees: Ph.D., Dr.Sci., lecturer, postgraduate student and senior student (co-authored). Articles should conform to the subject of the journal and report on the results of theoretical and/or experimental studies of the authors (as well as highlights, and reviews).

The journal covers the following specialties:

01.04.00 Physics

05.13.00 Computer Science and Management

05.20.00 Agroengineering System Processes and Machines

14.01.00 Clinical Medicine

14.03.00 Medicobiological Sciences

Submission of a manuscript implies that the work described has not been published previously. Monitoring of unauthorized citations is provided by services “AntiPlagiat” and “CrossCheck”. The journal gives preference to the articles with potentially high impact factor or containing significant advances in considered areas of science.

2. Please use correct English (either American or British usage is accepted, but not a mixture of both).

3. It is necessary to indicate the **UDC** code (<http://www.udk-codes.net>).

4. The title of the article should be short and informative (less than 10 words) and should convey your essential points clearly. *The title is to be provided in Russian and English.*

5. **The abstract** plays a role of an enhanced title. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions (200–250 words). It consists of 4 distinct parts:

1) Introduction

2) Materials and Methods

3) Results

4) Discussion and Conclusions

The abstract is to be provided in Russian and English.

6. The structure of the paper should contain the **list of keywords** (5–10 words) in *Russian and English*. They should reflect basic statements, results achieved and the terminology of the investigation.

7. **Acknowledgements:** List in this section those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.). *The acknowledgements are to be provided in Russian and English.*

8. **The main body** of the article should be presented in Russian or in English.

1) Introduction (1–2 pp.) is the challenge of the problem treated, its relevance, its connection with the chief tasks to be solved, its importance for the development of a definite area of science or for practical activity.

2) Literature review (1–2 pp.). It is necessary to describe the recent principal studies and publications relied upon by the author; modern views on the issue; difficulties in the development of the subject; the allotment of the outstanding issues within the general problem of the article.

3) Materials and Methods (1–2 pp.). This section describes the process of the experiment, using techniques and equipment; provides detailed information about the target of research; indicates the sequence of research and justifies the choice of methods used (observation, survey, test, experiment, laboratory experience, analysis, modeling, learning and generalization, etc.).

4) Results. In this section should be presented systematic analytical and statistical material. The research results should be described adequately, so that the reader can trace the process and assess the validity of the conclusions made by the author. This is the main section, which aims to prove a working hypothesis (or hypotheses) by analysis, synthesis and data clarification.

5) Discussion and Conclusions. The conclusion must contain a brief summary of research results. The main points of the work must be repeated. It is better to present any repetition of the material with new formulations. It is necessary to compare the results with the target, indicated at the beginning of the article.

In conclusion, the results are to be summarized from a theoretical and practical point of view; the main directions for further research are indicated in this area.

9. **Bibliography:** The bibliography should be drawn up strictly according to the GOST P 7.0.5-2008 and in uniform format (*in Russian and English*).

It would be desirable to refer to papers published in indexed journals with impact factor.

It is advisable to refer to 30–40 sources (at least 20–30 recent sources).

Citations of articles published in “Mordovia University Bulletin” should include author, title, volume number, year, and page number, DOI and/or URL. *The bibliography is to be provided in Russian and English.*

10. **Institutional affiliation of authors:** Last name, first name, the name of the institution, the address of the institution, the place where the project occurred, the position and academic title of the author, ORCID ID, Researcher ID, e-mail, phone, postal address for delivery of obligatory copy (*in Russian and in English*).

11. **Authors’ contributions.** At the end of the manuscript, authors should explain in the notes the actual contribution of each collaborator in the work performed. The order of the authors and co-authors of the article must be consistent in itself (*in Russian and in English*).

The author agrees to the terms of the enclosed license agreement by submission of the article.

The journal has adopted a “double blind” reviewing (reviewer and author are not familiar with each other; term of validity “Mordovia University Bulletin” 1 year).

A reviewer analyses an article and decides recommending it for publication (after revision of without it), additional reviewing or refusing of it. In case of noncompliance of an author with the comment of a reviewer, they can address a motivated statement to editorial council.

Editorial staff’s policy is based on modern legal requirements concerning libel, copyright, legitimacy, plagiarism, ethical principles, kept in community of leading scientific issues publishers. Journal’s editorial policy is based upon traditional ethical principles of Russian academic periodicals; it supports Academic Periodicals Ethical Codex, stated by Committee on Publication Ethics (Russia, Moscow) and it is formed in account of standards of ethics of editors’ and publishers’ work confirmed by Code of Conduct and Best Practice Guidelines for Journal Editors and Code of Conduct for Journal Publishers, developed by Committee on Publication Ethics (COPE).

Free recall of journal’s material is allowed for personal purposes. Free use is permitted for informational, academic, educational and cultural purposes in compliance of paragraphs 1273 and 1274 of chapter 70, part IV of Civil Codex of Russia. Other types of use are possible only after making agreements in writing with copyright holder.

Electronic copies of the journal with full text of the articles in PDF are in free access at the website of Academic Electronic Library. The journal is distributed by subscription, requests of universities, educational institutions and individuals and pay-on-delivery mailing.

Sergey M. Vdovin – Editor in chief. Tel.: +7 (8342) 24-48-88.

Sergey V. Polutin – Deputy editor in chief. Tel.: +7 (8342) 32-81-57.

Svetlana V. Gordina – Executive editor. Tel.: +7 (8342) 48-14-24.



Редактор – *Л. А. Пудовкина*

Перевод *С. В. Голованова*

Компьютерная верстка *А. С. Полутина*

Информационная поддержка сайта журнала *Р. В. Карасева*

Территория распространения – Российская Федерация, зарубежные страны.

Подписано в печать 28.07.2016 г. Дата выхода в свет 30.09.2016 г.

Формат 70 × 108 $\frac{1}{16}$. Усл. печ. л. 11,90.

Тираж 250 экз. Заказ № 1001. Свободная цена.

Отпечатано в типографии Издательства Мордовского университета
430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Советская, 24





Editor *L. A. Pudovkina*

Translation *S. V. Golovanov*

Desktop publishing *A. S. Polutin*

Informational support of site *R. V. Karasev*

Distributed in Russian Federation and foreign countries.

Signed to print 28.07.16. Date of publishing 30.09.16.

Sheet size $70 \times 108 \frac{1}{16}$. Conventional printed sheets 11,90.

Number of copies 250. Order no. 1001. Free price.

Publishing House of Mordovia State University

24, Sovetskaya St., 430005 Saransk, Republic of Mordovia

