

Пермский федеральный исследовательский центр
Уральского отделения Российской академии наук
Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

РОССИЙСКИЙ ЖУРНАЛ БИОМЕХАНИКИ
RUSSIAN JOURNAL OF BIOMECHANICS
2023. ТОМ 27, № 3

РОССИЙСКИЙ ЖУРНАЛ БИОМЕХАНИКИ. 2023. Т. 27, № 3

Издание журнала осуществлено при финансовой поддержке Министерства образования и науки Пермского края

Цель журнала – интенсифицировать обмен информацией между специалистами по биомеханике в России и других странах мира путем информирования о достижениях в данной области. Под биомеханикой понимается применение принципов механики для изучения биологических проблем и проблем клинической медицины. Основу журнала составляют высококачественные исследовательские статьи, посвященные современным вычислительным аспектам биомеханики и моделирования для клинических приложений. Критериями принятия оригинальных исследовательских статей и обзоров являются новизна, значимость, ясность и интерес для читателей.

Основные направления

- Общие задачи и методы биомеханики
- Реологические свойства живых тканей
- Механика биоматериалов и протезирование
- Биомеханика зубочелюстной системы
- Биомеханика движений
- Биомеханика мышечно-скелетного аппарата
- Биомеханика кровообращения
- Биомеханика органов дыхания
- Биомеханика тканей и клеток
- Биомеханика спорта
- Математическое моделирование в биомедицине
- Цифровые технологии в биомедицине

Индексирование

- Scopus
- Ulrich's Periodicals Directory
- EBSCO
- Russian Science Citation Index (RSCI)
- East View
- Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)
- Реферативный журнал

Подписка

Подписной индекс в каталоге «Пресса России» – 39489.

RUSSIAN JOURNAL OF BIOMECHANICS. 2023. Vol. 27, No. 3

The Journal is published under financial support of Ministry of Education and Science of Perm Region

The Journal publishes peer reviewed articles related to the principal topics in biomechanics.

This Journal was established to improve the information interchange between specialists on biomechanics from Russia and other countries. Biomechanics is defined as application of the principles of mechanics to explore biological and clinical problems.

The criteria for acceptance of original articles and reviews include novelty, significance, clarity, and interest to the readership.

Principal Suggested Topics:

- General problems and methods of biomechanics
- Rheological properties of living tissues
- Biomaterials and prostheses
- Dental biomechanics
- Human movement analysis
- Musculoskeletal biomechanics
- Cardiovascular biomechanics
- Biomechanics of breathing
- Tissue and cellular biomechanics
- Sport biomechanics
- Mathematical modeling in biomedicine
- Digital technologies in biomedicine

Abstracting/indexing:

- Scopus
- Ulrich's Periodicals Directory
- EBSCO
- Russian Science Citation Index (RSCI)
- East View
- Russian Citation Index
- Referativnyi Zhurnal

Procedure of subscription

You can order the periodical by sending an e-mail to export@periodicals.ru, or by subscribing by means of the internet-shop www.periodicals.ru/export. All your actions will be monitored. Follow the instructions closely and you will encounter no problems. In case you will need an invoice to pay for your order please contact our manager at export@periodicals.ru, and the invoice will be sent to you.

The subscription can be made for Russian or English version of the journal.

РОССИЙСКИЙ ЖУРНАЛ БИОМЕХАНИКИ. 2023. ТОМ 27, № 3
ISSN 2409-6601

Периодичность публикаций – 4 раза в год

Распоряжением Минобрнауки России от 06 декабря 2022 года № 02-1198 «Российский журнал биомеханики» 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 по специальности 1.1.10 – Биомеханика и биоинженерия (физико-математические науки и технические науки) с категорией К1.

Журнал «Российский журнал биомеханики / Russian Journal of Biomechanics» зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-84072 от 21 октября 2022 года.

Главный редактор

А.Г. Кучумов д.ф.-м.н., доцент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

Заместители главного редактора

Д. Воссуги профессор, Университет Мэрилэнд, Колледж-Парк, США

А.А. Ташкинов д.ф.-м.н., профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

Международный редакционный совет

С.М. Айзикович д.ф.-м.н., профессор, Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

Н. Антонова профессор, Институт механики Болгарской академии наук, София, Болгария

В.Н. Аптуков д.т.н., профессор, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

А. Балтов профессор, Институт механики Болгарской академии наук, София, Болгария

С.М. Бауэр д.ф.-м.н., профессор, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Ю.В. Василевский член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н., профессор, Институт вычислительной математики имени Г.И. Марчука Российской академии наук, Москва, Россия

А.О. Ватульян д.ф.-м.н., профессор, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

В.В. Веденеев д.ф.-м.н., профессор, Институт механики МГУ, Москва, Россия

К. Вержольский профессор, Высшая школа экономики, Быдгощ, Польша

О.С. Гилева д.м.н., профессор, Пермский государственный медицинский университет им. акад. Е.А. Вагнера, Пермь, Россия

М.В. Голуб д.ф.-м.н., профессор, Кубанский государственный университет, Краснодар, Россия

И.Г. Горячева академик РАН, д.ф.-м.н., профессор, Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук, Москва, Россия

А.С. Денисов д.м.н., профессор, Пермский государственный медицинский университет им. акад. Е.А. Вагнера, Пермь, Россия

М.Л. Джонс профессор, Университет Уэльса, Кардифф, Великобритания

А.И. Дьяченко д.т.н., профессор, Институт медико-биологических проблем Российской академии наук, Москва, Россия

- А.А. Еремин* к.ф.-м.н., доцент, Кубанский государственный университет, Краснодар, Россия
- И.Б. Ившина* академик РАН, д.б.н., профессор, Институт экологии и генетики микроорганизмов Уральского отделения Российской академии наук, Пермь, Россия
- А. Каппоццо* профессор, Римский университет, Рим, Италия
- Ю.В. Каракулова* д.м.н., профессор, Пермский государственный медицинский университет им. акад. Е.А. Вагнера, Пермь, Россия
- Н.А. Коротаев* к.м.н., Международная ассоциация специалистов оздоровительных практик, Москва, Россия
- Л.Ю. Коссович* д.ф.-м.н., профессор, Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, Саратов, Россия
- М.С. Куюкина* д.б.н., профессор, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия
- М.М. Манцкава* профессор, Центр экспериментальной биомедицины им. И. Бериташвили, Тбилиси, Грузия
- Л.Б. Маслов* д.ф.-м.н., доцент, Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, Иваново, Россия
- В.П. Матвеевко* академик РАН, д.т.н., профессор, Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук, Пермь, Россия
- М. Менар* профессор, Университет Бордо, Бордо, Франция
- Д. Миддлтон* профессор, Университет Суонси, Суонси, Великобритания
- О.Б. Наймарк* д.ф.-м.н., профессор, Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук, Пермь, Россия
- А. Натали* профессор, Университет Падуи, Падуя, Италия
- Т. Нгуен-Кван* профессор, Университет Дальхаузи, Галифакс, Канада
- А.В. Пермякова* д.м.н., профессор, Пермский государственный медицинский университет им. акад. Е.А. Вагнера, Пермь, Россия
- К.А. Петрушанская* к.б.н., Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского, Москва, Россия
- Ю.М. Плескачевский* член-корреспондент НАНБ, д.т.н., профессор, Президиум национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь
- Ф.Г. Раммерсторфер* профессор, Технический университет, Вена, Австрия
- А. Рачев* профессор, Институт механики Болгарской академии наук, София, Болгария
- П. Ржиха* профессор, Институт гидродинамики Чешской академии наук, Прага, Чехия
- Г.И. Рогожников* д.м.н., профессор, Пермский государственный медицинский университет им. акад. Е.А. Вагнера, Пермь, Россия
- Ж. Ронзин* профессор, Национальный институт прикладных наук, Ренн, Франция
- К. Садеджи* профессор, Университет Тегерана, Тегеран, Иран
- В.А. Самарцев* д.м.н., профессор, Пермский государственный медицинский университет им. акад. Е.А. Вагнера, Пермь, Россия
- О.А. Саченков* к.ф.-м.н., доцент, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия
- О.Э. Соловьева* д.ф.-м.н., профессор, Институт иммунологии и физиологии Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия
- В.Ю. Столбов* д.т.н., профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия
- К. Танне* профессор, Хиросимский университет, Хиросима, Япония
- Р. Таяр* профессор, Университет Реймса, Реймс, Франция
- А.Л. Ураков* д.м.н., профессор, Ижевская государственная медицинская академия, Ижевск, Россия
- Ч.Д. Фонтанелла* профессор, Университет Падуи, Италия

<i>Е.Г. Фурман</i>	член-корреспондент РАН, д.м.н., профессор, Пермский государственный медицинский университет им. акад. Е.А. Вагнера, Пермь, Россия
<i>А.К. Цатурян</i>	д.ф.-м.н., профессор, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
<i>С. Цуцуми</i>	профессор, Университет Киото, Киото, Япония
<i>В.А. Черешнев</i>	академик РАН, д.б.н., профессор, Институт иммунологии и физиологии Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия
<i>С.В. Шилько</i>	к.т.н., доцент, Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси, Гомель, Беларусь
<i>А.А. Штейн</i>	к.ф.-м.н., доцент, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
<i>Ж.-Ф. Штольц</i>	профессор, Университет Лотарингии, Нанси, Франция

Ответственные за выпуск

<i>С.Е. Пешин</i>	Пермский национальный исследовательский университет, Пермь, Россия	исследовательский	политехнический
<i>Д.В. Хорошев</i>	Пермский национальный исследовательский университет, Пермь, Россия	исследовательский	политехнический

Перевод и компьютерная верстка

<i>А.А. Неплюева</i>	Пермский национальный исследовательский университет, Пермь, Россия	исследовательский	политехнический
<i>В.Н. Никитин</i>	Пермский национальный исследовательский университет, Пермь, Россия	исследовательский	политехнический
<i>Д.И. Спорышева</i>	Пермский национальный исследовательский университет, Пермь, Россия	исследовательский	политехнический

RUSSIAN JOURNAL OF BIOMECHANICS. 2023. Vol. 27, No. 3
ISSN 2409-6601

The periodicity is 4 numbers a year

Editor-in-Chief

A.G. Kuchumov Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

Associate Editors

A.A. Tashkinov Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

J. Vossoughi University of Maryland, College Park, USA

International Editorial Board

S.M. Aizikovich Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

N. Antonova Institute of Mechanics of the Bulgarian Academy of Sciences, Sophia, Bulgaria

V.N. Aptukov Perm State National Research University, Perm, Russia

A. Baltov Institute of Mechanics of the Bulgarian Academy of Sciences, Sophia, Bulgaria

S.M. Bauer Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

A. Cappozzo University of Rome, Rome, Italy

V.A. Chereshnev Institute of Immunology and Physiology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

A.S. Denisov Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner, Perm, Russia

A.I. Dyachenko Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

A.A. Eremin Kuban State University, Krasnodar, Russia

C.G. Fontanella University of Padova, Padova, Italy

E.G. Furman Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner, Perm, Russia

O.S. Gileva Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner, Perm, Russia

M.V. Golub Kuban State University, Krasnodar, Russia

I.G. Goryacheva Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

I.B. Ivshina Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

M.L. Jones University of Wales, Cardiff, United Kingdom

Yu.V. Karakulova Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner, Perm, Russia

N.A. Korotaev International Association of Specialists in Rehabilitation Practice, Moscow, Russia

L.Y. Kossovich Chernyshevsky Saratov State University, Saratov, Russia

M.S. Kuyukina Perm State National Research University, Perm, Russia

M.M. Mantskava I. Beritashvili Center of Experimental Biomedicine, Tbilisi, Georgia

L.B. Maslov Ivanovo State Power Engineering University named after V.I. Lenin, Ivanovo, Russia

V.P. Matveenko Institute of Continuous Media Mechanics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

M. Mesnard University of Bordeaux, Bordeaux, France

J. Middleton University College of Swansea, Swansea, United Kingdom

O.B. Naimark Institute of Continuous Media Mechanics of the Ural Branch of the Russian Academy of Science, Perm, Russia

A.N. Natali University of Padova, Padova, Italy

T. Nguyen-Quang Dalhousie University, Halifax, Canada

A.V. Permyakova Perm State Academician E.A. Wagner Medical University, Perm, Russia

K.A. Petrushanskaya Moscow Regional Research Clinical Institute named after M.F. Vladimirovsky, Moscow, Russia

Y.M. Pleskachevskiy National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

A. Rachev Institute of Mechanics of the Bulgarian Academy of Sciences, Sophia,

	Bulgaria
<i>F.G. Rammerstorfer</i>	Vienna University of Technology, Vienna, Austria
<i>P. Riha</i>	Institute of Hydrodynamics of the Czech Academy of Sciences, Prague, Czech Republic
<i>G.I. Rogozhnikov</i>	Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner, Perm, Russia
<i>J. Ronsin</i>	Institut National des Sciences Appliquees, Rennes, France
<i>O.A. Sachenkov</i>	Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia
<i>K. Sadeghy</i>	University of Tehran, Tehran, Iran
<i>V.A. Samartsev</i>	Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner, Perm, Russia
<i>S.V. Shilko</i>	National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus
<i>O.E. Solovyova</i>	Institute of Immunology and Physiology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia
<i>A.A. Stein</i>	Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
<i>V.Yu. Stolbov</i>	Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia
<i>J.-F. Stoltz</i>	University of Lorraine, Nancy, France
<i>R. Taiar</i>	University of Reims, Reims, France
<i>K. Tanne</i>	Hiroshima University, Hiroshima, Japan
<i>A.K. Tsaturyan</i>	Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
<i>S. Tsutsumi</i>	Kyoto University, Kyoto, Japan
<i>A.L. Urakov</i>	Izhevsk State Medical Academy, Izhevsk, Russia
<i>Yu.V. Vasilevsky</i>	Marchuk Institute of Numerical Mathematics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
<i>A.O. Vatulyan</i>	Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia
<i>V.V. Vedenev</i>	Institute of Mechanics (Moscow State University), Moscow, Russia
<i>K.Ch. Wierzcholski</i>	WSG: The University of Economy in Bydgoszcz, Bydgoszcz, Poland

Technical Editors

<i>S.E. Peshin</i>	Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia
<i>D.V. Khoroshev</i>	Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

Assistant Editors

<i>A.A. Neplyueva</i>	Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia
<i>V.N. Nikitin</i>	Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia
<i>D.I. Sporysheva</i>	Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Трезубов В.Н.</i> (Санкт-Петербург, Россия), <i>Мишнев М.Л.</i> (Великий Новгород, Россия), <i>Паршин Ю.В.</i> , <i>Модестов В.С.</i> , <i>Яреха Д.И.</i> (Санкт-Петербург, Россия). Экспериментальное изучение распределения упругих напряжений в перимплантатной кости при зубном протезировании.....	10
<i>Розов Р.А.</i> (Санкт-Петербург, Россия), <i>Хигучи К.У.</i> (Спокан, США), <i>Брунски Дж.</i> (Пало-Альто, США), <i>Трезубов В.Н.</i> (Санкт-Петербург, Россия), <i>Смердов А.А.</i> (Москва, Россия), <i>Мишнев М.Л.</i> (Великий Новгород, Россия). Трехмерный конечно-элементный анализ влияния утраты дентального имплантата на распределение напряжения в имплантационном протезе нижней челюсти	24
<i>Молочников В.М.</i> (Казань, Россия), <i>Хубулава Г.Г.</i> (Санкт-Петербург, Россия), <i>Калинин Е.И.</i> , <i>Пашкова Н.Д.</i> , <i>Никифоров И.В.</i> (Казань, Россия) Экспериментальное и численное моделирование структуры потока в модели дистального анастомоза бедренной артерии.....	36
<i>Герасимов О.В.</i> , <i>Рахматулин Р.Р.</i> , <i>Балтина Т.В.</i> , <i>Саченков О.А.</i> (Казань, Россия). Определение эффективных механических параметров на основе данных цифрового прототипа.....	53
<i>Солодкова Е.Г.</i> (Волгоград, Россия), <i>Малюгин Б.Э.</i> (Москва, Россия), <i>Захаров И.Н.</i> , <i>Ли В.Х.</i> , <i>Фокин В.П.</i> , <i>Балалин С.В.</i> , <i>Лобанов Е.В.</i> (Волгоград, Россия). Идентификация параметров модели роговицы с кератоконусом при численно-экспериментальном исследовании ее геометрии и механического поведения.....	67
<i>Доль А.В.</i> (Саратов, Россия) Механические свойства атеросклеротических бляшек, покрышек и стенок артериальных сосудов: испытания на мобильном стенде	81
<i>Муслов С.А.</i> , <i>Перцов С.С.</i> , <i>Чижмаков Е.А.</i> (Москва, Россия), <i>Асташина Н.Б.</i> , <i>Никитин В.Н.</i> (Пермь, Россия), <i>Арутюнов С.Д.</i> (Москва, Россия). Упругая линейная, билинейная, нелинейная экспоненциальная и гиперупругие модели кожи.....	89
Разделы биомеханики и ответственные за них	104
Порядок представления и оформления статей в Российский журнал биомеханики	105

CONTENTS

<i>Trezubov V.N.</i> (St. Petersburg, Russian Federation), <i>Mishnev M.L.</i> (Veliky Novgorod, Russian Federation), <i>Parshin Yu.V.</i> , <i>Modestov V.S.</i> , <i>Yarekha D.I.</i> (St. Petersburg, Russian Federation). Experimental study of the distribution of elasticity in the peri-implant bone during prosthetics	10
<i>Rozov R.A.</i> (St. Petersburg, Russian Federation), <i>Higuchi K.W.</i> (Spokane, USA), <i>Brunski J.</i> (Palo-Alto, USA), <i>Trezubov V.N.</i> (St. Petersburg, Russian Federation), <i>Smerdov A.A.</i> (Moscow, Russian Federation), <i>Mishnev M.L.</i> (Veliky Novgorod, Russian Federation). 3D finite element analysis of the dental implant loss effect on the stress distribution in the mandibular implant-supported prosthesis	24
<i>Molochnikov V.M.</i> (Kazan, Russian Federation), <i>Khubulava G.G.</i> (St. Petersburg, Russian Federation), <i>Kalinin E.I.</i> , <i>Pashkova N.D.</i> , <i>Nikiforov I.V.</i> (Kazan, Russian Federation). Experimental and numerical study of flow structure in a model of distal anastomosis of femoral artery	36
<i>Gerasimov O.V.</i> , <i>Rakhmatulin R.R.</i> , <i>Baltina T.V.</i> , <i>Sachenkov O.A.</i> (Kazan, Russian Federation). Determination of the bone tissue mechanical properties by a numerical-digital method using CT data	53
<i>Solodkova E.G.</i> (Volgograd, Russian Federation), <i>Maliugin B.E.</i> (Moscow, Russian Federation), <i>Zaharov I.N.</i> , <i>Le V.H.</i> , <i>Fokin V.P.</i> , <i>Balalin S.V.</i> , <i>Lobanov E.V.</i> (Volgograd, Russian Federation). Identification of the model parameters in cornea with keratoconus in terms of the numerical-experimental study of corneal geometry and mechanical behavior	67
<i>Dol A.V.</i> (Saratov, Russian Federation). Mechanical properties of atherosclerotic plaques, caps and walls of arterial vessels: a mobile test bench experiments	81
<i>Muslov S.A.</i> , <i>Pertsov S.S.</i> , <i>Chijmakov E.A.</i> (Moscow, Russian Federation), <i>Astashina N.B.</i> , <i>Nikitin V.N.</i> (Perm, Russian Federation), <i>Arutyunov S.D.</i> (Moscow, Russian Federation). Elastic linear, bilinear, nonlinear exponential and hyperelastic skin models	89
Units of biomechanics and responsible for them.....	104
Instructions for the authors	105