

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

**РОССИЙСКИЙ ЖУРНАЛ БИОМЕХАНИКИ**  
**RUSSIAN JOURNAL OF BIOMECHANICS**  
**2019. ТОМ 23, № 4**

## РОССИЙСКИЙ ЖУРНАЛ БИОМЕХАНИКИ. 2019. Т. 23, № 4

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. Под предметом биомеханики понимается механика живых тканей и биоматериалов.

Характерной особенностью журнала является освещение проблем, связанных одновременно с биомеханикой и медициной.

В журнале публикуются оригинальные работы широкого биомеханического профиля.

### 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
- Биомеханические проблемы в биотехнологии

### Индексирование

- Scopus
- Ulrich's Periodicals Directory
- EBSCO
- East View
- Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)
- Реферативный журнал

### Подписка

Подписка на Российский журнал биомеханики на территории России осуществляется через агентство «Роспечать», № 46421 в каталоге «Газеты, журналы».

## RUSSIAN JOURNAL OF BIOMECHANICS. 2019. Vol. 23, No. 4

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 the mechanics of living tissues and biomaterials.

The Journal presents original papers of a wide biomechanical profile. A balance of biomechanical and medical problems is the principal aspect of the Journal activities.

### 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
- Biomechanical problems in biotechnology

### Abstracting/indexing:

- Scopus
- Ulrich's Periodicals Directory
- EBSCO
- East View
- Russian Citation Index
- Referativnyi Zhurnal

All the papers are published in English. After translation the equivalent edition of the Journal is published in Russian.

### Procedure of subscription

You can order the periodical by sending an e-mail to [export@periodicals.ru](mailto:export@periodicals.ru), or by subscribing by means of the internet-shop [www.periodicals.ru/export](http://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](mailto:export@periodicals.ru), and the invoice will be sent to you.

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

Периодичность публикаций – 4 раза в год

Решением Президиума Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России от 01 декабря 2015 года № 13-6518 «Российский журнал биомеханики» включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук по физико-математическим, техническим, медицинским и биологическим наукам.

#### Главный редактор

*Ю.И. Няшин* д.т.н., профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия

#### Заместители главного редактора

*Д. Воссуги* профессор, корпорация «Биомед», Вашингтон, США

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

#### Международный редакционный совет

*Н. Антонова* профессор, Болгарская академия наук, София, Болгария

*А. Балтов* профессор, Болгарская академия наук, София, Болгария

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

*Ч.Д. Бурстоун* профессор, Центр здоровья Университета Коннектикута, США

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

*К. Вержольский* профессор, Гданьский технический университет, Польша

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

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

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

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

*И.Б. Ившина* академик РАН, д.б.н., профессор, Уральское отделение Российской академии наук, Пермь, Россия

*А. Каппоццо* профессор, Римский университет, Италия

*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, Россия

*Г.А. Любимов* д.ф.-м.н., профессор, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия

*М.М. Манцкава* Центр экспериментальной биомедицины им. И. Бериташвили, Тбилиси, Грузия

*В.П. Матвеев* академик РАН, д.т.н., профессор, Уральское отделение Российской академии наук, Пермь, Россия

*М. Менар* профессор, Университет Бордо, Франция

*Д. Миддлтон* профессор, Университет Суонси, Уэльс, Великобритания

*О.Б. Наймарк* д.ф.-м.н., профессор, Уральское отделение Российской академии наук, Пермь, Россия

*А. Натали* профессор, Университет Падуи, Италия

<i>Ю.М. Плескачевский</i>	член-корр. НАНБ, д.т.н., профессор, Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь
<i>Ф.Г. Раммерсторфер</i>	профессор, Технический университет, Вена, Австрия
<i>А. Рачев</i>	профессор, Болгарская академия наук, София, Болгария
<i>П. Ржиха</i>	профессор, Чешская академия наук, Прага, Чехия
<i>Г.И. Рогожников</i>	д.м.н., профессор, Пермский государственный медицинский университет им. акад. Е.А. Вагнера, Россия
<i>Ж. Ронзин</i>	профессор, Национальный институт прикладных наук, Ренн, Франция
<i>В.А. Самарцев</i>	д.м.н., профессор, Пермский государственный медицинский университет им. акад. Е.А. Вагнера, Россия
<i>О.Э. Соловьева</i>	профессор, д.ф.-м.н., Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
<i>К. Танне</i>	профессор, Хиросимский университет, Япония
<i>Ю.Ч. Фанг</i>	профессор, Калифорнийский университет, США
<i>С.В. Хрущев</i>	д.м.н., профессор, Москва, Россия
<i>А.К. Цатурия</i>	д.ф.-м.н., доцент, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия
<i>С. Цуцуми</i>	профессор, Университет Киото, Япония
<i>В.А. Черешнев</i>	академик РАН, д.б.н., профессор, Уральское отделение Российской академии наук, Екатеринбург, Россия
<i>С.В. Шилько</i>	к.т.н., доцент, Национальная академия наук Беларуси, Гомель, Беларусь
<i>А.А. Штейн</i>	к.ф.-м.н., доцент, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия
<i>Ж.-Ф. Штольц</i>	профессор, Медицинский факультет, Нанси, Франция

#### **Заведующий редакцией**

<i>В.Н. Никитин</i>	Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия
---------------------	---

#### **Перевод и компьютерная верстка**

<i>А.Л. Дубинин</i>	Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия
<i>А.Г. Кучумов</i>	Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия
<i>В.А. Лохов</i>	Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия

RUSSIAN JOURNAL OF BIOMECHANICS. 2019. Vol. 23, No. 4  
ISSN 2409-6601

The periodicity is 4 numbers a year

**Editor-in-Chief**

*Y.I. Nyashin* Perm National Research Polytechnic University, Russia

**Associate Editors**

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

*J. Vossoughi* Biomed Research Foundation, Washington, USA

**International Editorial Board**

*N. Antonova* Bulgarian Academy of Sciences, Sophia, Bulgaria

*A. Baltov* Bulgarian Academy of Sciences, Sophia, Bulgaria

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

*C.J. Burstone* University of Connecticut Health Center, USA

*A. Cappozzo* University of Rome, Italy

*V.A. Chereshnev* Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

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

*Y.C. Fung* University of California, USA

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

*I.G. Goryacheva* Institute for Problems in Mechanics, Moscow, Russia

*I.B. Ivshina* Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

*M.L. Jones* University of Wales, Cardiff, UK

*S.V. Khrushchov* Moscow, Russia

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

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

*G.A. Lyubimov* Moscow State Lomonosov University, Russia

*M.M. Mantkava* I. Beritashvili Center of Experimental Biomedicine, Tbilisi, Georgia

*V.P. Matveenko* Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

*M. Mesnard* University of Bordeaux, France

*J. Middleton* University College of Swansea, Wales, UK

*O.B. Naimark* Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

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

*A. Rachev* Bulgarian Academy of Sciences, Sophia, Bulgaria

*F.G. Rammerstorfer* Vienna University of Technology, Austria

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

*P. Riha* Czech Academy of Sciences, Prague, Czech Republic

*G.I. Rogozhnikov* Perm State Academician E.A. Wagner Medical University, Russia

*J. Ronsin* Institut National des Sciences Appliquees, Rennes, France

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

*S.V. Shilko* National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus

*O.E. Solovyova* Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

*A.A. Stein* Moscow State Lomonosov University, Russia

*J.-F. Stoltz* Faculty of Medicine, Nancy, France

*K.Tanne* Hiroshima University, Japan

*A.K. Tsaturyan* Moscow State Lomonosov University, Russia

*S. Tsutsumi* Kyoto University, Japan

*A.O. Vatulyan* Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

*K.Ch. Wierzcholski* Gdansk University of Technology, Gdansk, Poland

**Technical Editor**

*V.N. Nikitin* Perm National Research Polytechnic University, Russia

**Assistant Editors**

*A.L. Dubinin* Perm National Research Polytechnic University, Russia

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

*V.A. Lokhov* Perm National Research Polytechnic University, Russia

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Слияков Л.Ю., Богатов В.Б., Ригин Н.В., Бобров Д.С., Шубкина А.А.</i> (Москва, Россия). Роль подбарометрии в оценке предоперационного и послеоперационного состояния больных с перегрузочной метатарзалгией.....	500
<i>Моисеева И.Н., Штейн А.А.</i> (Москва, Россия). Математическое моделирование деформирования роговицы глаза приложенным извне давлением.....	511
<i>Скрипаченко К.К., Голядкина А.А., Морозов К.М., Челнокова Н.О., Островский Н.В., Кириллова И.В., Коссович Л.Ю.</i> (Саратов, Россия). Биомеханический пациенто-ориентированный анализ влияния аневризмы на гемодинамику грудного отдела аорты .....	526
<i>Доль А.В., Иванов Д.В.</i> (Саратов, Россия), <i>Кажанов И.В.</i> (Санкт-Петербург, Россия), <i>Кириллова И.В., Коссович Л.Ю.</i> (Саратов, Россия), <i>Микитюк С.И., Петров А.В.</i> (Санкт-Петербург, Россия). Биомеханическое моделирование вариантов хирургического реконструктивного лечения односторонних переломов крестца .....	537
<i>Зверева К.П., Марков Д.А., Голядкина А.А., Полиенко А.В.</i> (Саратов, Россия). Оценка напряженно-деформированного состояния бедренного компонента эндопротеза тазобедренного сустава с нестандартным размером конуса и с переходником для его стандартизации .....	549
<i>Талар И., Газиньский К.</i> (Лодзь, Польша), <i>Семма П.-А., Загородний Б.</i> (Париж, Франция). Влияние асимметричной нагрузки на реакции опоры при походке.....	557
<i>Заркович Д., Шорфова М.</i> (Прага, Чехия), <i>Гролегер-Шриень К.</i> (Любляна, Словения), <i>Равник Д.</i> (Изола, Словения). Эргономические предложения по развитию роботизированных тренажеров для ходьбы.....	566
<i>Домошницкий А., Бершадская М., Волынская И.</i> (Ариэль, Израиль). Дистрибутивный контроль в стабилизации модели инфекционных заболеваний.....	579
<i>Маницава М.М., Момцелидзе Н.Г.</i> (Тбилиси, Грузия). Клинические маркеры функционального состояния резистивных артерий у молодых мужчин.....	586
<i>Маницава М.М.</i> (Тбилиси, Грузия), <i>Няшин Ю.И., Лохов В.А.</i> (Пермь, Россия). Оценка кровообращения при экспериментальном опухолевом паранеопластизме .....	592
<i>Журавлева И.Ю.</i> (Новосибирск, Россия), <i>Нуштаев Д.В., Ардатов К.В.</i> (Москва, Россия), <i>Шарифулин Р.М., Афанасьев А.В., Богачев-Прокофьев А.В.</i> (Новосибирск, Россия). Численная оценка усталостной прочности каркаса транскатетерного биопротеза митрального клапана на основе модели никелида титана .....	599
<i>Шитоев И.Д., Тверье В.М., Словигов С.В., Вильдеман В.Э.</i> (Пермь, Россия). Экспериментальное определение механических свойств рыхлой соединительной ткани свиньи .....	613
<i>Калягина Н.В.</i> (Москва, Россия). Численное моделирование процесса агрегации эритроцитов в эксперименте с микропипетками .....	623
<i>Хорошев Д.В., Ильялов О.Р., Устюжанцев Н.Е., Няшин Ю.И.</i> (Пермь, Россия). Методика оцифровки персонализированной геометрии позвоночно-двигательного сегмента <i>L4–L5 in vivo</i> .....	638
К столетию основателя современной биомеханики профессора Калифорнийского университета (г. Сан-Диего, США) доктора Юаня Ченга Фанга .....	647
Международная конференция Польского общества биомеханики “Биомеханика 2020” .....	649
Содержание тома 23.....	651
Разделы биомеханики и ответственные за них .....	659

## CONTENTS

<i>Slinyakov L.Y., Bogatov V.B., Rigin N.V., Bobrov D.S., Shubkina A.A.</i> (Moscow, Russia). Role of podobarometry in the assessment of preoperative and postoperative conditions of patients with overload metatarzalgia .....	500
<i>Moiseeva I.N., Stein A.A.</i> (Moscow, Russia). Mathematical modelling of eye cornea deformation by external pressure .....	511
<i>Skripachenko K.K., Golyadkina A.A., Morozov K.M., Chelnokova N.O., Ostrovsky N.V., Kossovich L.Y.</i> (Saratov, Russia). Biomechanical patient-oriented analysis of influence of the aneurysm on the hemodynamics of the thoracic aorta .....	526
<i>Dol A.V., Ivanov D.V.</i> (Saratov, Russia), <i>Kazhanov I.V.</i> (Saint-Petersburg, Russia), <i>Kirillova I.V., Kossovich L.Yu.</i> (Saratov, Russia), <i>S.I. Mikityuk, A.V. Petrov</i> (Saint-Petersburg, Russia). Биомеханическое моделирование вариантов хирургического реконструктивного лечения односторонних переломов крестца .....	537
<i>Zvereva K.P., Markov D.A., Golyadkina A.A., Polienko A.V.</i> (Saratov, Russia). Evaluation of stress-strain state of the femoral endoprosthesis component with a non-standard cone size and adapter for its standardization .....	549
<i>Talar I., Hasiński K.</i> (Lodz, Poland), <i>Semmad P.-A.</i> (Paris, France), <i>Zagrodny B.</i> (Lodz, Poland). Influence of an asymmetrical load on ground reaction forces during gait .....	557
<i>Žarković D., Šorfova M.</i> (Prague, Czech Republic), <i>Groleger-Sršen K.</i> (Ljubljana, Slovenia), <i>Ravnik D.</i> (Izola, Slovenia). Ergonomic proposals for the development of robot-assisted gait training devices .....	566
<i>Domoshnitsky A., Bershadsky M., Volinsky I.</i> (Ariel, Israel). Distributed control in stabilization of a model of infection diseases .....	579
<i>Mantskava M.M., Momtselidze N.G.</i> (Tbilisi, Georgia). Clinical markers of functional condition of resistive arteries in the young men.....	586
<i>Mantskava M.M.</i> (Tbilisi, Georgia), <i>Nyashin Y.I., Lokhov V.A.</i> (Perm, Russia). The study of blood circulation at experimental tumor paraneoplasticism.....	592
<i>Zhuravleva I.Yu.</i> (Novosibirsk, Russia), <i>Nushtaev D.V., Ardatov K.V.</i> (Moscow, Russia), <i>Sharifulin R.M., Afanasyev A.V., Bogachev-Prokofiev A.V.</i> (Novosibirsk, Russia). Numerical assessment of fatigue strength of transcatheter mitral bioprosthetic stent based on the titanium nickelide model.....	599
<i>Shitoev I.D., Tverier V.M., Slovikov S.V., Wildeman V.E.</i> (Perm, Russia). Experimental determination of the mechanical properties of the porcine areolar tissue.....	613
<i>Kalyagina N.V.</i> (Moscow, Russia). Numerical modeling of the process of erythrocytes aggregation in experiment with micropipets .....	623
<i>Khoroshev D.V., Ilyalov O.R., Ustyuzhantsev N.E., Nyashin Y.I.</i> (Perm, Russia). Personalized geometry digitization technique of the vertebromotor segment L4–L5 <i>in vivo</i> .....	638
To the centenary of the patriarch of modern biomechanics professor of university of California (San Diego, USA) Doctor Y.C. Fung.....	647
The International conference of the Polish society of biomechanics “Biomechanics 2020” .....	649
Contents of volume 23.....	651
Units of biomechanics and responsible for them.....	659