

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

**РОССИЙСКИЙ ЖУРНАЛ БИОМЕХАНИКИ**  
**RUSSIAN JOURNAL OF BIOMECHANICS**  
**2019. ТОМ 23, № 2**

## РОССИЙСКИЙ ЖУРНАЛ БИОМЕХАНИКИ. 2019. Т. 23, № 2

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. 2

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.

**РОССИЙСКИЙ ЖУРНАЛ БИОМЕХАНИКИ. 2019. ТОМ 23, № 2**  
**ISSN 2409-6601**

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

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

#### **Заведующий редакцией**

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

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

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

RUSSIAN JOURNAL OF BIOMECHANICS. 2019. Vol. 23, No. 2  
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. Mantskava* 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

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

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

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Гарнов И.О., Варламова Н.Г., Логинова Т.П., Потолицына Н.Н., Черных А.А., Бойко Е.Р.</i> (Сыктывкар, Россия). Влияние максимальной велоэргометрической нагрузки на координационные способности и функциональное состояние спортсменов циклических видов спорта .....	174
<i>Качанов А.Б., Корников В.В., Бауэр С.М., Архипова И.М., Зимин Б.А.</i> (Санкт-Петербург, Россия). Уточненный статистический анализ аберраций высших порядков и тотальных аберраций у пациентов с эмметропией и аномалиями рефракции .....	184
<i>Бауэр С.М., Венатовская Л.А., Шалегин Г.С.</i> (Санкт-Петербург, Россия). Конечно-элементная модель измерения внутриглазного давления тонометром Шиотца.....	197
<i>Письменная Е.В., Петрушанская К.А., Котов С.В., Аведиков Г.Е., Митрофанов И.Е., Толстов К.М., Ефаров В.А.</i> (Москва, Россия). Клинико-биомеханическое обоснование применения экзоскелета «ЭкзоАтлет» при ходьбе больных с последствиями ишемического инсульта.....	204
<i>Джалалова М.В., Арутюнов С.Д., Степанов А.Г.</i> (Москва, Россия). Исследование свойств стоматологических цементов в эксперименте на удаленных зубах, армированных индивидуальными трансдентальными имплантатами .....	231
<i>Гилев М.В., Зайцев Д.В., Измоденова М.Ю., Киселева Д.В.</i> (Екатеринбург, Россия), <i>Силаев В.И.</i> (Сыктывкар, Россия). Сравнительная характеристика методов аттестации деформированной микроструктуры трабекулярной костной ткани.....	242
<i>Сагайдачный А.А., Волков И.Ю., Фомин А.В., Скрипаль А.В.</i> (Саратов, Россия). Закономерности распространения тепловой волны в модели биологической ткани и возможность термовизуализации вазомоторной активности периферических сосудов.....	251
<i>Лохов В.А.</i> (Пермь, Россия). Биомеханический анализ ростовых деформаций.....	261
<i>Кучумов А.Г.</i> (Пермь, Россия). Биомеханическая модель течения желчи в билиарной системе.....	267
<i>Тверье В.М.</i> (Пермь, Россия). Кинетические уравнения перестройки трабекулярной костной ткани в пространстве Ильюшина .....	293
<i>Пинхасов О.</i> (Ариэль, Израиль). Анализ стабильности на основе позитивности в регулировании тестостерона с использованием распределенного контроля обратной связи.....	302
Разделы биомеханики и ответственные за них .....	313

## CONTENTS

<i>Garnov I.O., Varlamova N.G., Loginova T.P., Potolitsyna N.N., Chernykh A.A., Boyko E.R.</i> (Syktyvkar, Russia). Effects of the maximal bicycle ergometric load test on coordination abilities and functional state of cross-country skiers and biathletes .....	174
<i>Kachanov A.B., Kornikov V.V., Bauer S.M., Arkhipova I.M., Zimin B.A.</i> (Saint-Petersburg, Russia). Aupdated statistical analysis of higher order aberrations and total aberrations in patients with emmetropy and refractive anomalies .....	184
<i>Bauer S.M., Venatovskaya L.A., Shalpegin G.S.</i> (Saint-Petersburg, Russia). Finite element model of measurement of intraocular pressure by the Schiøtz tonometer.....	197
<i>Pismennaya E.V., Petrushanskaya K.A., Kotov S.V., Avedikov G.E., Mitrofanov I.E., Tolstov K.M., Efarov V.A.</i> (Moscow, Russia). Clinical and biomechanical foundation of application of the exoskeleton ExoAtlet at walking of patients with poststroke disturbances .....	204
<i>Dzhalalova M.V., Arutyunov S.D., Stepanov A.G.</i> (Moscow, Russia). Research of dental cements properties in experiment on remote teeth reinforced by individual transdental implants.....	231
<i>Gilev M.V., Zaitsev D.V., Izmodenova M.Yu., Kiseleva D.V.</i> (Yekaterinburg, Russia), <i>Silaev V.I.</i> (Syktyvkar, Russia). Comparative characteristic of the methods of certification of deformed microstructure of trabecular bone tissue .....	242
<i>Sagaidachnyi A.A., Volkov I.Yu., Fomin A.V., Skripal A.V.</i> (Saratov, Russia). Investigation of thermal wave propagation within the model of biological tissue and the possibility of thermal imaging of vasomotor activity of peripheral vessels .....	251
<i>Lokhov V.A.</i> (Perm, Russia). Biomechanical analysis of growth strain .....	261
<i>Kuchumov A.G.</i> (Perm, Russia). Biomechanical model of bile flow in the biliary system.....	267
<i>Tverier V.M.</i> (Perm, Russia). Kinetic equations of trabecular bone tissue remodelling in Ilyushin's space.....	293
<i>Pinhasov O.</i> (Ariel, Israel). Positivity-based stability analysis in testosterone regulation using distributed feedback control .....	302
Units of biomechanics and responsible for them.....	313