

УДК 577.31+612.76

БИОМЕХАНИКА И БИОМАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

А.И.Свириденко¹, Е.Д.Белоеенко²¹Научно-исследовательский центр проблем ресурсосбережения
НАН Беларуси,²Белорусский научно-исследовательский институт травматологии и
ортопедии

Статья отражает основные пути развития биомеханики и биоматериаловедения как интерфейса научных дисциплин между медициной и механикой. Подготовлен обзор исследований белорусских ученых, представлен анализ перспективных разработок и направления их использования в медицине.

Ключевые слова: биомеханика, биоматериаловедение, перспективные направления.

The article defines the main contemporary trends of biomechanics and biomaterial engineering development - the interface of scientific disciplines between medicine and mechanics. The review of researches of belarusian scientists is prepared, the analysis of perspective workings and directions for their use in applied medicine is presented.

Key words: biomechanics, biomaterial engineering, perspective workings.

Введение

Биомеханика – наука о механическом движении живых организмов и их отдельных органов и тканей, газообразных и жидких сред в них. Биоматериаловедение – область науки, посвященная установлению взаимосвязи структуры и физико-механических свойств материалов, из которых естественно и искусственно построены живые организмы.

Историю научной биомеханики отсчитывают от работ Аристотеля (4 век до н.э.), Леонардо-да-Винчи (14 век), Р.Декарта и Д.Борелли (17 век), В.Брауна и О.Фишера, П.Ф.Лесгафта (19 век). Особенно бурно биомеханика стала развиваться в XX веке в связи с массовым ростом занимающихся физической культурой и спортом, что потребовало создания новых типов обуви, спортивного инвентаря, диагностического оборудования и т.п.

Становление биоматериаловедения произошло преимущественно в XX веке и выразилось в создании искусственных биоматериалов и имплантируемых изделий, различных защитных конструкций и т.д. [2]. Анализ механических свойств природных биоматериалов (табл. 1) и наиболее часто применяемых в медицине их заменителей (табл. 2) свидетельствует, что у современного биоматериаловедения очень большое поле деятельности, ибо большинство современных искусственных конструкционных материалов в сочетании с известными технологиями получения изделий из них весьма часто не позволяют создать и превзойти точные аналоги существующих, созданных живой природой биоизделий.

Согласно данным Лондонского института материалов, объем мирового рынка по всем медицинским отраслям, включая диагностическое оборудование и биоизделия, достигает 150-200 млрд. долларов, десятую часть которого составляет рынок биоматериалов, с устойчивым ежегодным приростом на 7-12%.

Таблица 1. Механические свойства биоматериалов

Твердые ткани	Модуль упругости, ГПа	Предел прочности на разрыв, МПа
Трубчатая кость (продольное направление волокон)	17,7	133
Трубчатая кость (поперечное направление волокон)	12,8	52
Губчатая кость	0,4	7,4
Эмаль	84,3	10
Дентин	11,0	39,3
Мягкие ткани		
Суставной хрящ	10,5	27,5
Волокнистый хрящ	159,1	10,4
Связка	303,0	295,0
Сухожилие	401,5	465,0
Кожа	0,1-0,2	76,0
Стенки артерии (продольное направление)		0,1
Стенки артерии (поперечное направление)		1,1
Хрусталик	5,6	2,3

Таблица 2. Механические свойства материалов-заменителей и имплантов

Материал	Модуль упругости, ГПа	Предел прочности на разрыв, МПа
Полиэтилен (PE)	0,88	35
Полиуретан (PU)	0,02	35
Политетрафторэтилен (PTFE)	0,5	27,5
Полиацеталь (PAL)	2,1	67
Полиметилметакрилат (PMMA)	2,55	59
Полиэтилентерефталат (PET)	2,85	61
Полиэтеркетон (PEEK)	8,3	139
Силикон (SR)	0,008	7,6
Полисulfон (PS)	2,65	75
Нержавеющая сталь	190	586
Кобальт-хромовый сплав	210	1085
Титановый сплав	116	965
Амальгама	30	58
Глинозем (окись алюминия)	380	300
Двуокись циркония	220	820
Биостекло	35	42
Гидроксипатит	95	50

Эти данные убедительно свидетельствуют о востребованности, актуальности и интенсивном развитии биомеханической науки в современном обществе, о стремлении консолидировать в этой области научные и инженерные силы. Активно работают Мировой и Европейский союзы биомехаников, во многих странах созданы аналогичные национальные объединения.

В последние десятилетия наблюдается тесное и весьма результативное взаимодействие биоме-

ханики, биофизики, биохимии, биологии и биомедицинских направлений.

Развитие биомеханики и биоматериаловедения в Республике Беларусь

Таблица 3. Основные направления исследований в области биомеханики и биоматериаловедения в РБ

№	Наименование научного учреждения	Направление биомеханических работ
1	Институт механики металлополимерных систем НАН Беларуси	Трибология синовиальных суставов, создание эндопротезов. Биоактивные и адаптивные материалы.
2	Объединенный институт проблем информатики	Моделирование, анализ и конструирование искусственных движущих систем на основе волновых процессов переноса вещества аналогов перемещения живых биообъектов.
3	Институт тепло- и массообмена НАН Беларуси	Биомеханика и биофизика кровеносных сосудов, биомеханика высокоскоростного движения в жидкостях.
4	Белорусский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии	Искусственные смазки – синовиальные жидкости. Эндопротезы. Иммуобилизирующие материалы.
5	Научно-исследовательский институт порошковой металлургии	Разработка и изготовление имплантов из порошковых металлических материалов.
6	Витебский государственный университет	Моделирование и расчет реконструированного среднего уха.
7	Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси	Разработка биосовместимых композитов.
8	Белорусский национальный технический университет	Динамика двуперной ходьбы. Биомеханические исследования системы зуб – периодонт. Чтение лекций по курсу «Биомеханика».
9	Белорусский государственный технологический университет	Разработка динамической модели ДНК.
10	Белорусская медицинская академия последипломного образования	Разработка конструкций и материалов имплантов
11	Научно-исследовательский центр проблем ресурсосбережения НАН Беларуси	Новые материалы и конструкции для иммобилизации (корсеты, головодержатели), ортопедические стельки, компьютерная диагностика опорно-двигательной системы.
12	Гродненский государственный медицинский университет	Иммобилизирующие материалы и конструкции, ортопедические стельки.
13	Гомельский государственный медицинский университет	Разработка методов имплантации, новых биоматериалов.
14	Витебский государственный технологический университет	Чтение лекций по курсу «Биомеханика»
15	Физико-технический институт НАН Беларуси	Разработка амплитудных биозащитных изделий, имплантов

С результатами исследований белорусских биомехаников и биоматериаловедов можно ознакомиться в работах, приведенных в списке цитируемой литературы [3-39].

Кратко рассмотрим некоторые результаты гродненских ученых и специалистов.

Достижения гродненских ученых и специалистов. В последние несколько лет их усилия сосредоточены на проведении исследований и разработок в следующих направлениях [3, 30-32, 36-39]:

1. Разработка методов биомеханической диагностики опорных систем человека. Создание и анализ базы данных патологии стоп детей школьного возраста.

2. Разработка материалов и технологии производства из них иммобилизирующих изделий (корсеты, головодержатели, татора и т.п.), технологии индивидуального и массового изготовления подошвенных стелек с новыми функциональными свойствами типа «Permeable».

3. Разработка термдеформируемых материалов для изготовления непосредственно на теле пациента фиксирующих масок, туторов и т.д.

Одним из главных инициаторов и исполнителей этих работ является заведующий кафедрой ортопедии, травматологии и ВПХ Гродненского государственного медицинского университета, доктор медицинских наук, профессор С.И.Болтрукевич. Работы выполнялись учеными специалистами вышеназванной кафедры, Научно-исследовательского центра проблем ресурсосбережения НАН Беларуси, Инженерного центра «Плазмотек» Физико-технического института НАН Беларуси при активном содействии и участии Белорусского института травматологии и ортопедии, практических ортопедов, невропатологов, нейрохирургов Гродненской больницы скорой медицинской помощи, 2-ой Гродненской городской больницы, Гродненской областной больницы.

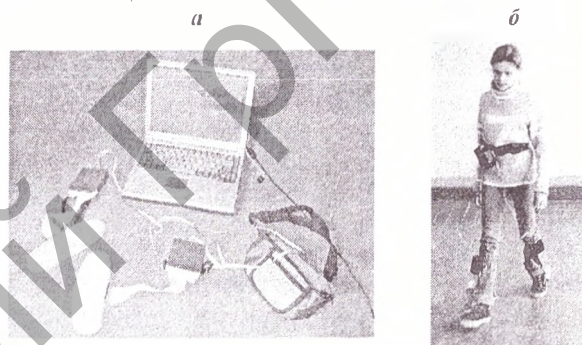


Рис. 1. Диагностический комплекс: а – общий вид, б – пример процесса диагностики.

Компьютерный функционально-диагностический комплекс является оригинальной разработкой и:

- обеспечивает измерение и аналитическую обработку биомеханических характеристик стопы пациента для изучения функционального состояния и определения вариантов оптимальной ортопедической коррекции;

- позволяет осуществлять диагностику патологии опорно-двигательной системы до развития клинических проявлений, что дает возможность проводить эффективные профилактические мероприятия.

Отличием электронно-механического комплекса для диагностики патологии стоп от традиционных методов обследования (подоскопия, плантография, рентгенография) является возможность анализа функциональной составляющей опорно-двигательного аппарата методом определения и регистрации биомеханических параметров как в покое, так и при движении пациента.

Комплекс состоит из измерительных стелек с вмонтированными датчиками давления, блока памяти, а также коллектора, собирающего сигналы с измерительных стелек. Регистрация сигналов производится в течение 20 секунд, во время которых пациент после проведенного инструктажа выполняет несколько шаговых упражнений. Специально

разработанная компьютерная программа производит статистическую обработку, анализ и графическую интерпретацию полученных данных. Метод бароплантографии и компьютерного анализа данных с применением электронно-механического комплекса для диагностики патологии стоп позволяет объективно зарегистрировать и оценить биомеханические параметры при стоянии и ходьбе. Компьютерная регистрация и быстрая визуализация изменения давления на опорной поверхности стопы дает возможность определить различные патологические состояния стопы (деформации стоп, диабетические нарушения, дистрофическое состояние, пяточная шпора и т.д.) на стадиях до развития клинических проявлений, а также подобрать оптимальное ортопедическое решение, снижающее до минимума патологическое воздействие на стопу. Основные измеряемые параметры комплекса:

- распределение давления по подошвенной поверхности,
- расположение общего центра массы пациента (ОЦМ),
- динамическое определение нагрузочных (опорных) зон стопы,
- определение давления по фазам шага,
- определение циклических характеристик ходьбы,
- определение положения вектора ОЦМ при ходьбе.

Наиболее перспективно использование комплекса во время диспансеризации и медицинских осмотров детей и подростков, а также лиц, состоящих на учете с диагнозом сахарный диабет. Методика обеспечивает надежный контроль развития нарушений, приводящих к деформации стоп у детей, и хирургических осложнений диабетической стопы. Комплекс позволяет оптимизировать реабилитационные мероприятия при операциях и травмах опорно-двигательной системы.

Применение комплекса в спортивной медицине дает возможность оценить состояние нижних конечностей спортсмена при максимальных напряжениях и подобрать эффективный режим для профилактики травматизма и повышения результативности.

Разработано программное обеспечение электронно-механического комплекса, которое позволяет получать широкий спектр объективной биомеханической информации, определяющей индивидуальный диагностический алгоритм. Анализ полученных данных дает возможность выявить критические зоны на стопе, установить динамический механизм патологического процесса. Регистрация динамических показателей обеспечивает определение функциональной составляющей и оценку фактического состояния стопы с учетом компенсаторных механизмов, скрывающих клиническую симптоматику, что особенно характерно для пациентов детского возраста. Важнейшее значение имеет сравнительный анализ данных, полученных на

различных этапах динамического наблюдения, позволяющий объективно оценить эффективность лечебно-реабилитационных мероприятий и определить перспективную тактику лечебного процесса.

Комплексное динамическое ортопедическое наблюдение детей и подростков с применением современных диагностических и реабилитационных технологий, основанных на биомеханических принципах, открывает широкие перспективы для эффективной профилактики патологии опорно-двигательного аппарата. Создание *информационно-ортопедического банка данных*, включающего индивидуальные объективные функционально-биомеханические сведения о максимальном количестве учащихся общеобразовательных школ позволит не только оптимизировать и прогнозировать последовательность и преемственность лечебно-профилактического процесса, но и обеспечит современный системный подход к оздоровлению детей и подростков.

Завершающим этапом является изготовление по биомеханической модели индивидуальных лечебно-восстановительных ортопедических стелек из полимерного композита и проверка их эффективности на комплексе. Биомеханические показатели являются основой для разработки индивидуальной конструкции ортопедической коррекции. Локализация участков избыточного подошвенного давления, расположение траектории вектора центра давления служат объективным ориентиром для размещения разгружающих и поддерживающих элементов ортопедической стельки, их размера и плотности. Функциональный анализ позволяет определить неадекватные зоны на подошвенной поверхности и активизировать их методом ортопедической коррекции.

Полученные данные позволяют оценить функциональное состояние стоп, определить компенсаторные зоны чрезмерного подошвенного давления, локализацию скрытой патологии и составить объективную схему ортопедической коррекции с определением расположения и размеров разгружающих, амортизирующих и рессорно-поддерживающих элементов ортопедической стельки.

При контрольном исследовании сконструированной корригирующей стельки на электронно-механическом комплексе проверяется эффективность достигнутой коррекции, регистрируются изменения биомеханических характеристик стопы.

Ортопедические изделия «PERMEABLE». Головодержатели, корсеты, подошвенные стельки.

Стельки ортопедические. Стельки ортопедические изготавливаются оригинальным методом из рециклируемых высокоэластичных термопластичных материалов, преимущественно отечественного производства, унифицированной или индивидуальной конструкции.

Стельки используются при лечении (коррекции) различных врожденных и приобретенных патологий стоп (плоскостопия, косолапости и др.), пяточной шпоры.

Особенно эффективным является применение индивидуальных стелек:

- для детей на ранней стадии обнаружения плоскостопия (наблюдается у 30-50 % обследованных);
- для профилактики и лечения диабетической стопы, возникающей в результате сахарного диабета;
- для демпфирующих прокладок и элементов в спортивной обуви, используемой прежде всего в игровых видах (волейбол, теннис, баскетбол, ручной мяч), позволяющих снизить травматизм при ударных нагрузках.

Отличаются от известных аналогов высокой функциональностью: точным повторением рельефных особенностей стопы и выбором корригирующих вставок на основе точных электромеханических и плантографических измерений; низким весом, высокой воздухопроницаемостью, обеспечивающей хорошую вентиляцию и проявление демпфирующего эффекта. Индивидуальные стельки в 1,5-4 раза дешевле импортных. В материал могут вводиться антигрибковые ингредиенты.



Имеется лицензия Минздрава РБ на применение стелек в медицинской практике.

Производство стелек освоено в экспериментально-исследовательской базе НИЦПР НАН Беларуси. При значительном расширении рынка лицензия на их производство может быть передана заинтересованным предприятиям.

Потенциальные потребители индивидуальных стелек – лица, имеющие согласно медицинским показателям потребность в лечении и коррекции патологий стоп; унифицированных стелек – все лица, желающие повысить комфортность обуви за счет вентиляционных, демпфирующих, теплоизоляционных и других особенностей стелек.

Подана заявка на патент.

Корсет ортопедический. Корсет ортопедический представляет собой изготовленную на основе оригинальной технологии высокофункциональную армированную в зонах наибольших механических нагрузок конструкцию из рециклируемых отечественных термопластичных материалов.

Корсет предназначен для стабилизации, коррекции и разгрузки поясничного и нижегрудного отделов позвоночника (от 3-его до 6-ого грудного позвонка) в послеоперационном периоде после хирургических операций на позвоночнике, при лечении патологии межпозвоночных дисков, остеохондрозе, различных патологиях мышечного аппарата грудной части тела.



Отличается от зарубежных и применяемых в РБ корсетов в 1,4-1,6 раза меньшим весом, высокой (40-60%) воздухопроницаемостью и комфортностью, в 1,4-3,0 раза меньшей стоимостью.

Производство корсетов, в соответствии с лицензией Минздрава РБ, освоено экспериментально-исследовательской базой НИЦПР. Потенциальные потребители – хирургические отделения медицинских учреждений Минздрава РБ.

Подана заявка на патент.

Головодержатель полужесткий. Головодержатель полужесткий представляет собой изготовленную с применением оригинальной технологии высокофункциональную армированную конструкцию из отечественных рециклируемых полимерных материалов.

Головодержатель используется при оказании экстренной помощи во время чрезвычайных ситуаций и дорожно-транспортных происшествий, сопровождающихся вывихами и переломами шейных отделов позвоночника и требующих иммобилизации при транспортировке. Применяется также при шейно-плечевом синдроме, миалгии и невралгии шеи, дископатиях, вывихах, при реабилитации в послеоперационном периоде.

В Республике Беларусь головодержатель такого типа не производится. Отличается от зарубежных меньшим весом, высокой (30-60%) воздухопроницаемостью и функциональностью, в 1,2-1,6 раза меньшей стоимостью.



Лицензированное производство головодержателя освоено в экспериментально-исследовательской базе НИЦПР. Потенциальные потребители – травматологические отделения и отделения скорой помощи Минздрава РБ, соответствующие подразделения МЧС и Минобороны РБ.

В табл. 4 приведены физические и механические свойства вышеописанных изделий, а в табл. 5 их основные технико-экономические характеристики.

Таблица 4. Свойства изделий "Permeable"

Тип	Физические и механические свойства		
	средняя плотность, ρ , кг/м ³	σ , МПа несущих элементов	Воздухопроницаемость боковых поверхностей, %
Полиэтиленовый	~400-600	25-35	40-60
Полиамидный	~600-800	50-60	40-60
Полипропиленовый	~400-600	30-40	40-60
Комбинированный	~700-1000	30-60	40-60

Таблица 5. Техничко-экономическая характеристика готовых изделий

Тип	Средняя масса базовой конструкции изделий, г	Ориентировочная стоимость базового конструкц изделия в USD
Корсеты	300-600	35-50
Головодержатели	150-500	15-30
Стельки	40-100	1,5-3,0

Примечание: Масса зависит от размера и требуемой жесткости изделия.

Термоформуемые материалы. В НИЦПР совместно с ГрГМУ разработаны и разрабатываются отечественные низкотемпературные термопластичные композиты, отличающиеся не дефицитностью исходных компонентов и более низкой стоимостью. Иностранные термопласты очень дороги, например, лист фирмы «Orfit» размером 400 × 600 мм в Польше стоит около \$40, лист фирмы «Johnson & Johnson» – около \$100, а себестоимость

листа термопласта разработанного в НИЦ ПР НАНБ аналогичного размера в 5-10 раз ниже. Это стало возможным благодаря применению модифицированных отечественных полимеров различных марок и использованию несложной технологии прессования.

Как и в зарубежных аналогах, отечественные листы можно разогреть в водяной бане или духовой печи при 70°C и формовать изделия прямо на теле человека, не причиняя ожога. Особенно хорошо формуется на руку и ногу лонгеты, применяемые для лечения последствий острого нарушения мозгового кровообращения. Материал обладает пластической памятью.

Листы изготавливаются толщиной 1-6 мм с размерами до 500 × 1000 мм. Этот материал отличается необходимыми прочностными характеристиками: напряжение при разрыве – 33-40,0 МПа; модуль упругости – 1600-1800 МПа; прочность при изгибе 55-65 МПа.

Заключение

В мире в последние 2-3 десятилетия активно развиваются научные и прикладные направления биомеханики и биоматериаловедения, направленные на решение разнообразных медицинских задач. Этими проблемами в Республике Беларусь занимаются, по крайней мере, 15 групп ученых и специалистов, работающих преимущественно в научных организациях НАН Беларуси и Министерства здравоохранения РБ, вузах республики. Оригинальные исследования по созданию новых биоматериалов и конструкций ортопедических изделий (корсеты, головодержатели, стельки, туторы) и биомеханической диагностики ходьбы человека ведутся в Гродненском государственном медицинском университете и Научно-исследовательском центре проблем ресурсосбережения НАН Беларуси. Начато их использование при диагностике и ортопедической коррекции населения Гродненской области.

Литература

1. Дубровский В.И., Федорова В.Н. Биомеханика. М.: «Владос-пресс», 2003. - 672 с.
2. Black J., Hastings G.W. Handbook of Biomaterials. Properties. - London, Chapman and Hall, 1998.
3. Sviridenok A.I. Biomechanical science in Belarus // Proc. Of 13th Conference of the European Society of Biomechanics. - Wrocław, Poland. - 2002/- p.p.3-8.
4. Pinchuk L.S. Concept of endoprostheses approximation to natural joint // Proc. of 1st Asia Int. On Tribology (Asiatrib 98), Beijing, China. -1988.- p. 834-837.
5. Pinchuk L.S., Tsvetkova E.A., Nikolaev V.I. Friction materials with structure simulating human cartilage//Journal of Friction and Wear.- 1995.- V. 16, № 3.- p. 79-83.
6. Pinchuk L.S. Certain biotribologic concepts of synovial joint and endoprostheses // Proc. Of Symp. on Lubricating Materials and Tribochemistry, Lanzhou, China.-1988.- p. 232-234.
7. Pinchuk L.S., Tsvetkova E., Kadolich Z. Polymer insert of hip joint cup endoprosthesis with modified friction surface //Applied Mechanics and Engineering.- 1999.- V. 4.- p. 247-250.
8. Grsdka-Dalke M., Pinchuk L.S. Investigation of friction surface of polymer hip joint implants//Journal of Friction and Wear.- 2001.- V. 22, № 1.- p. 69-74.
9. Pinchuk L.S., Grsdka-Dalke M., Kadolich Zh. V., Tsvetkova E.A., dabrowski J. Investigation of friction surface of a microporous material for endoprostheses // ACTA of Bioengineering and biomechanics - 2001.- V. 3, Suppl. 1.- p. 195-201.
10. Kadolich Z. Relaxation mechanism observed at microporous SWMPE friction in endoprostheses // Materialy III Symp. IOP. - Bialystok - 2001.- p. 101-106.
11. Pinchuk L.S., Tsvetkova E.A., Kadolich Z. V. Electromagnetic and electric field as means of improving endoprosthesis joint lubricity//Abstr. Of Papers from 2nd World Tribology Congress.-

- Vienna, 2001.- p. 759.
12. Pinchuk L.S., Goldade V.A., Kravtsov A.G., Zotov S.V. Thermally stimulated depolarization of human bloody // Technical Physics - 2001 - V. 46, № 5.- p. 620-622.
13. Pinchuk L.S., Kadolich Z. V., Tsvetkova E.A. Magnetic field effect on metal-polymer pair friction under liquid lubrication//Proc 7th Int. Conf. On Tribology, Budapest - 2000.- p.283-285.
14. Pinchuk L.S., Tsvetkova E.A., Kadolich Z. V. Effect of electromagnetic fields on friction in joint implants//Journal of Friction and wear.- 2001 - V. 22, № 5.- p. 69-73.
15. Dobrolyubov A.I. Travelling Deformation Waves : A Tutorial Review.- New-York, Applied Mechanics Reviews.- 1991.- N 5 - pp.215-255.
16. Добролюбов А.И. Волновой перенос вещества. - Минск, Белорусская наука. 1996. -304с.
17. Dobrolyubov A. I. The traveling deformation waves as a biological transport mechanism// Russian Journal of Biomechanics - 2001 - Vol. 5, № 3 - pp 55-69.
18. Dubkova V.I., Alekseenko V.I., Mayevskaya O.I., Chudakov O.P., Geinnik A.V. Bio-compatible carbon-fibers composites with piezoelectrical properties// Sympozjum In-zyneria Ortopedyczna i Protetyczna - IOP-99, Bialystok, 1999.- p.p. 87-92.
19. Купчинов Б.И., Ермаков С.Ф., Белоенко Е.Д. Биотрибология синовиальных суставов. Минск, Веды, 1997.- с. 356
20. Kupchinov B.I., Ermakov S.F., Rodnenkov V.G., Beloenko E.D. Structure - Mechanical and Antifriction Properties relationship in Sinovial Fluid of Joints // Mechanics of Composite Materials.- 1988.- № 2.- p.p. 240-246.
21. Белоенко Е.Д., Воронович И.Р., Купчинов Б.И., Ермаков С.Ф., Эйсмонт О.Л., Родненков В.Г. Модификаторы свойств синовиальной жидкости на основе жидких кристаллов // Ортопедия, травматология и протезирование. - 1999.- № 3.- с. 60-66.
22. Ermakov S.F., Kupchinov B.I., Rodnenkov V.G., Beloenko E.D., Eismont O.L. Influence of nature of rubbing surface and lubricant on articular cartilage friction // ACTA of Bioengineering and Biomechanics. - 2001.- p.p. 65-71.
23. Voronovich A.I., Gorokhov V.M., Savich V.V., Ustinova G.P. Computer Simulation of a seat Locking Porous System//Proc. of the 2nd Belorussian Congress on Theoretical and Applied Mechanics.- Minsk - 1999.- p.p. 255-256.
24. Savich V.V., Pienovich I.P., Tumilovich M.V., Voronovich I.R., Babkin A.V., Masurenko A.N. Porous implants of servical vertebral and intervertebral discs produced of technically pure titanium powder//Acta of Bioengineering and Biomechanics - 2001.- V3 - p.p. 65-71.
25. Pyushenko A.Ph., Savich V.V., Belavin K.E., Minro D.V. technology of powder metallurgy and spraying protective coating for implants production//Proc. III sym-pozjum Inzynieria Bialystok, 2001.- p.p. 57-65.
26. Подольцева А.С., Шульман З.П. Численное моделирование геодинимики и биомеханики артериальной системы // Инженерно-физический журнал. - Т. 72, № 3.- с. 450-457.
27. Смалюк А.Ф. Модель устойчивой двуногой ходьбы. //В сб. «Математическое моделирование деформируемого твердого тела» Под ред. О.Л. Шведа. Минск, 1999.- с. 88-97.
28. Chigarev A.V., Smaliuk A.F. Simple mathematical model of uncontrolled biped walking // Proc. of Int. Conf. Kaunas.- 1999 - p.p. 78-83.
29. Балакин В.А. Трение при ходьбе человека. Трение и износ - 1997 - v. 18, № 2.- с. 141-146.
30. Кочергин В.В., Тетерятников В.В., Свириденко А.И., Болтрукевич С.И. Возможности применения пористополимерных каркасных конструкций в восстановительной ортопедии. // Materialy III Sympozjum «Inzynieria Ortopedyczna i Protetyczna».- Bialystok.- 2001.- p.p. 131-134.
31. Кочергин В.В., Свириденко А.И., Тишковский В.Г., Домбровский Я.Р.// Materialy III Sympozjum «Inzynieria Ortopedyczna i Protetyczna».- Bialystok - 2001.- p.p. 125-129.
32. Домбровский Я.Р., Свириденко А.И., Свириденко И.А. Термоформуемый материал. // Materialy III Sympozjum «Inzynieria Ortopedyczna i Protetyczna».- Bialystok.- 2001.- p.p. 245-248.
33. Пинчук Л.С., Николаев В.Н., Цветкова Е.А. Эндопротезирование суставов. Технические и медико-биологические аспекты -Гомель.- 2003 - 287 с.
34. Ермаков С.Ф., Родненков В.Г., Белоенко Е.А., Купчинов Б.И. Жидкие кристаллы в технике и медицине. -Минск – Москва - 2002.- 411 с.
35. Шульман З.П., Маханек А.А., Губарев С.А. Моделирование движения отдельного эритроцита в узком капилляре // Инженерно-физический журнал. - 2005.- т. 78, №5.- с. 5-9.
36. Болтрукевич С.И., Свириденко А.И., Кочергин В.В. Конструирование оптимальной ортопедической коррекции на основе биомеханической диагностики патологии стоп. // Труды Гродненского государственного медицинского университета. 2002 - с. 128-133.
37. Kochergin V., Sviridenok A., Shashura L. A new design concept of the wireframe Headholder. // "Biomechanica, bioinzynerija, dirblnia i organai, lokomocija, ortopedija, reabilitacija". -Technika" - Vilnius.- 2004.- p.p. 5-9.
38. Kochergin V., Shashura L., Maksimenko A. The plantar pressure biomechanical aspect. Diagnostic device analyze. // Journal of Vibro-engineering.- 2004.- V. 6, N1.- p.p. 11-13.
39. Свириденко И.А. Низкотемпературные термомодеформируемые материалы медицинского и технического назначения. // Материалы. Технологии. Инструменты.- т.10. №2.-2005 -с 61-65