

РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ КОМИТЕТ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ
И ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКЕ

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МЕХАНИКИ РАН

ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ МГУ

ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

БИОМЕХАНИКА-2018

МАТЕРИАЛЫ
XIII ВСЕРОССИЙСКОЙ (с международным участием) КОНФЕРЕНЦИИ

(с. Дивноморское, 28 мая — 1 июня 2018 г.)

Редакторы: А. О. Ватульян, М. И. Карякин, В. С. Кондратьев, А. В. Попов

Ростов-на-Дону — Таганрог
2018

УДК [531/534+539.3/.5]:004.94(063)

ББК 22.25я43

Б34

***XIII Всероссийская (с международным участием) конференция
«БИОМЕХАНИКА-2018» (с. Дивноморское, 28 мая — 1 июня 2018 г.)
поддержана РФФИ, проект № 18-01-20028 Г.***

Б34 БИОМЕХАНИКА-2018 : материалы XIII Всероссийской (с международным участием) конференции, (с. Дивноморское, 28 мая — 1 июня 2018 г.) / Южный федеральный университет ; ред. А. О. Ватульян, М. И. Карякин, В. С. Кондратьев, А. В. Попов — Ростов-на-Дону : Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2018. — 142 с.

ISBN 978-5-9275-2801-1

Сборник содержит материалы докладов, представленных на XIII Всероссийскую (с международным участием) конференцию «БИОМЕХАНИКА-2018», продолжающую серию конференций, посвященных различным аспектам моделирования в области биомеханики и ее приложений. В нём отражены научные исследования в следующих направлениях: изучение свойств костной ткани в составе скелетно-мышечной и зубочелюстной систем; моделирование роста биологических тканей и органов, в том числе больших и малых кровеносных сосудов, сердца; исследование течения крови при наличии и отсутствии патологий в сосудах; моделирование различных заболеваний мягких и твердых тканей, моделирование в офтальмологии и системы слуха; исследование изменения свойств тканей при наличии различного типа патологий и в послеоперационный период; разработка теоретических основ для реализации новых методов неразрушающей диагностики заболеваний и свойств биологических тканей; исследование поведения сложных живых систем; моделирование и оптимизация имплантатов.

Важность исследований этих фундаментальных проблем обосновывается возможностью использования их результатов для решения широкого класса прикладных задач в области медицины и биоинженерии: совершенствование и разработка новых приборов для диагностики свойств тканей и органов с патологиями; создание и проектирование индивидуальных имплантатов костной ткани для различных элементов скелетно-мышечной и зубочелюстной систем для обеспечения совместимости и долговечности; разработка технологий исследования заболеваний сердечно-сосудистой системы в пред- и послеоперационные периоды; создание новых сосудистых протезов-эксплантатов; совершенствование методов и подходов для измерения геометрических и механических параметров глаза и органов слуха; разработка режимов и комплексов тренировок спортсменов для наиболее эффективного достижения наивысших результатов.

Публикуется в авторской редакции.

УДК [531/534+539.3/.5]:004.94(063)

ББК 22.25я43

ISBN 978-5-9275-2801-1

© Южный федеральный университет, 2018

Биомеханика керамического и титанового внутрикостных дентальных имплантатов

Перельмутер М. Н.¹, Олесова В. Н.²

¹Москва, Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлунского РАН

²Москва, Институт повышения квалификации ФМБА России

Современная ортопедическая стоматология в части несъемного протезирования все больше ориентирована на использование CAD/CAM фрезерованных керамических коронках или мостовидных протезах на каркасах из диоксида циркония. В связи с этим возрастает интерес к керамическим абатментам имплантатов, как внутрикостным опорам цельнокерамических протезных конструкций. Предложения производителей керамических имплантатов с осторожностью воспринимаются стоматологами-практиками из-за опасения в хрупкости керамических имплантатов, в связи с чем, актуальны исследования по биомеханике керамических имплантатов.

Расчетное исследование напряженно-деформированного состояния имплантатов с цементной фиксацией керамической коронки выполнено методом граничных элементов с использованием комплекса программ МЕГРЭ, реализующего численное решение граничных интегральных уравнений задач теории упругости, (см. Перельмутер М. Н. Анализ напряженного состояния в концевой области трещины на границе раздела материалов методом граничных элементов // Вычислительная механика сплошных сред. 2012. Т. 5. № 4. С. 415-426).

Для упрощения расчетов рассматривались варианты неразборных имплантатов, для чего в модели титанового имплантата использовался абатмент и винт из титана, керамического - из керамики. Нагрузка величиной $p=6$ МПа прикладывалась к окклюзионной поверхности керамической коронки на титановом или керамическом имплантатах в вертикальном направлении в модели сегмента нижней челюсти. Такая нагрузка при площади окклюзионной поверхности коронки 1 cm^2 соответствует приложенной силе $F = 600 \text{ N}$ (см. Король Д. М., Николов В. В., Онипко Е. Л., Ефименко А. С. Определение интенсивности окклюзионного давления у пациентов на ортопедическом приеме. Сборник статей по материалам XLVI-XLVII международной научно-практической конференции "Современная медицина: актуальные вопросы». Новосибирск: СибАК, 2015; 8-9(42): 40-46). Ввиду того, что толщина слоя стеклоиономерного цемента для крепления коронки к абатменту много меньше характерных размеров конструкции, при расчете этот слой моделировался с использованием условий контакта под областей с заданной жесткостью соединительных связей. Анализировались величины и локализация максимальных напряжений по контактными границам в имплантате, коронке, абатменте, соединяющем винте, кортикальной и губчатой кости. При моделировании использовались типичные физико-механические свойства материалов и тканей (модули упругости: керамика — $E = 70$ ГПа, стеклоиономерный цемент — $E = 20.9$ ГПа, титан — $E = 113.8$ ГПа, кортикальная кость — $E = 18.1$ ГПа, губчатая кость — $E = 0.49$ ГПа).

При анализе величины напряжений в сегменте челюсти с титановым или керамическим имплантатами максимальные напряжения выявляются в имплантатах

- соответственно 162 МПа и 133 МПа (в керамическом имплантате напряжения на 17,9% меньше). Эти напряжения большей частью локализуются в пришеечной части у платформы имплантата. Перемещения титанового имплантата составляют 11 мкм, керамического 12 мкм (разница 8,3%). Высокие напряжения распространяются в абатменте над платформой имплантатов (титанового - 123 МПа, керамического - 116 МПа, разница 5,7%) . Смещение абатментов составляет соответственно 13 мкм и 15 мкм (разница 13,3%). В коронке на керамическом имплантате напряжения на 30,8% выше в сравнении с коронкой на титановом имплантате (26 МПа и 18 МПа). Эти напряжения идут по контакту с абатментом, а также по окклюзионной поверхности. Перемещение коронки на титановом имплантате составляет 14 мкм, на керамическом - 16 мкм (разница 12,5%). В соединяющем винте (представляющем в данной модели среднюю зону неразборного титанового или керамического имплантата) напряжения примерно в три раза меньше поверхности имплантата в области платформы и составляют 54 МПа для титана и 47 МПа для керамики (разница 13,0%). Смещение средней зоны имплантата соответственно 12 мкм и 13 мкм (разница 7,7%). В кортикальной костной ткани максимальные напряжения, локализующиеся в пришеечной зоне титанового имплантата, составляют 75 МПа, керамического - 77 МПа (разница 2,6%). В губчатой кости напряжения одинаковы - 4 МПа. Сравнение максимальных напряжений с пределами прочности конструкционных материалов и костных тканей показало значительный запас прочности каждого из них: при использовании керамического имплантата - кортикальная кость - 1.7, губчатая кость - 1.3, имплантат - 2.4, винт (средняя зона имплантата) - 6.8, абатмент - 2.8, коронка - 12.3 раз; при использовании титанового имплантата соответственно: 1.7; 1.3; 5.4; 16.3; 7.2; 17.7 раз.

По результатам расчетов можно сделать следующие выводы:

- основные напряжения при вертикальной нагрузке локализуются в области шейки имплантата (в самом имплантате и костной ткани), а в коронке - вдоль абатмента и по окклюзионной поверхности;
- наибольшие напряжения регистрируются в имплантате, абатменте и кортикальной костной ткани;
- напряжения в частях керамического имплантата ниже, чем в титановом имплантате, но выше в покрывающей искусственной коронке;
- величина напряжений в конструкционных материалах и костных тканях не превышает запаса прочности каждого из них.

Полученные выводы позволяют рекомендовать керамические имплантаты для практики по данным биомеханического сравнения с титановыми имплантатами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 17-08-01312 и 17-08-01579).

Содержание

Аксенов А. Ю., Клишковская Т. А. Применение видеоанализа для моделирования скелетно-мышечной системы при ходьбе	4
Антонец В. А., Харитонов А. А. Исследование управления бицепсом при удержании груза	6
Балакина-Викуллова Н. А., Сульман Т. Б., Соловьева О. Э., Кацнельсон Л. Б. Математическое моделирование механоэлектрических обратных связей в кардиомиоците человека	7
Бауэр С. М., Воронкова Е. Б., Котляр К. Е. Оценка механических параметров склеры по данным об изменении внутриглазного давления после интравитреальных инъекций	9
Белоусова М. Д., Чертополохов В. А., Кручинина А. П. О целенаправленном движении руки человека для построения копирующего управления антропоморфным роботом	10
Богачев И. В., Ватульян А. О. Об акустическом методе идентификации характеристик биологических тканей	11
Большаков П. В., Пряжевский Р. Д., Мазуренко А. В., Коноплев Ю. Г. Моделирование установки ацетабулярного компонента эндопротеза при деградации костной ткани	12
Большаков П. В., Кашапова Р. М. Оптимизация ферментного эндопротеза длинных костей	13
Босяков С. М., Алексеев Д. В., Юркевич К. С., Зильбершмидт В. В. Влияние анизотропного распределения упругих свойств и ударной вязкости на несущую способность бедренной кости после хирургической резекции	14
Василевский Ю. В., Гамилов Т. М., Данилов А. А., Петров И. Б., Прямоносков Р. А., Симаков С. С., Юрова А. С. Численное моделирование в областях, близких к реальной анатомии	15
Вассерман И. Н., Шардаков И. Н., Шестаков А. П., Глот И. О. Численное моделирование электрического возбуждения в деформированном миокарде	16
Ватульян А. О. Обратные задачи биомеханики	17
Герцен О. П., Набиев С. Р., Копылова Г. В., Щепкин Д. В., Бершицкий С. Ю., Матюшенко А. М., Никитина Л. В. Исследование функциональных свойств димеров тропомиозина	18
Глушков Е. В., Глушкова Н. В., Виноградова К. Н., Варелджан М. В. Моделирование контактного виброиндентирования мягких тканей	20
Гороженинова Т. Н., Киченко А. А. Биомеханическое моделирование поведения трабекулярной костной ткани в ветви нижней челюсти человека под нагрузкой	21
Горячева И. Г., Яковенко А. А. Моделирование контактного взаимодействия мягких тканей с медицинским инструментом	22
Градов О. В. Многоугловая безлинзовая микроскопия сил натяжения с установлением колокализации эффектов внешних полей как метод анализа механизмов нейроморфогенеза	23

Грибов Д. А., Дашевский И. Н., Олесова В. Н. Персонификация оценки напряженно-деформированного состояния нижней челюсти на базе данных КТ при разных схемах имплантации	25
Гулидова Е. А., Босяков С. М., Зильбершмидт В. В. Оценка влияния микроморфологии кортикальной костной ткани на распространение трещины в случае одного остеона	26
Гусаков Д. В. Исследование волновых процессов в мягких тканях в рамках модели пороупругости	27
Давыдов С. А., Земсков А. В., Тарлаковский Д. В. Использование моделей связанной термоупругой диффузии в технологических процессах изготовления изделий биомедицинской техники	28
Дашевский И. Н., Шушпанников П. С. Влияние характеристик резьбы на первичную стабильность дентальных имплантатов	30
Долганова Т. И., Щурова Е. Н., Долганов Д. В., Судницын А. С. Анализ динамоплантограмм после устранения многокомпонентных деформаций стоп	31
Доль А. В., Иванов Д. В. Построение твердотельных моделей артерий виллизиевого круга на основе DICOM-файлов в полуавтоматическом режиме	32
Досаев М.З., Селюцкий Ю.Д., Горячева И.Г., Ju Ming-Shaung, Yeh Chien-Hsien. Разработка системы для реализации тактильной обратной связи при лапароскопических операциях	33
Донник А. М. Биомеханическое моделирование хирургической реконструкции переходного пояснично-крестцового отдела позвоночника	34
Дорошенко О. В., Голуб М. В. К определению ультразвуковыми методами ослабления адгезионных связей между твёрдыми тканями зуба и композитными цементами	36
Дубинин А. Л., Няшин Ю. И., Осипенко М. А., Еловикова А. Н. Биомеханический анализ начальной стадии ортодонтического лечения	37
Дышко Б. А. Особенности опорных реакций при выполнении низкого старта	38
Дьяченко А. И., Шулагин Ю. А., Суворов А. В. Биомеханика и регуляция вентиляции легких человека при дыхании газовыми смесями разного состава и давления	39
Загребнева А. Д., Говорухин В. Н., Карташев В. В. Математическая модель распространения трансмиссивного заболевания в двухвидовой популяции	41
Иванов Д. В., Доль А. В. Факторы, приводящие к развитию и разрыву аневризм	42
Ильина Е. Э., Маслов Л. Б., Сабанеев Н. А. Математическое исследование влияния механического нагружения на процесс регенерации костной ткани в объеме пористого имплантата	43
Измайлова Я. О., Фрейдин А. Б. Биомеханика ремоделирования костной ткани	45

Ильичев В. Г., Ильичева О. А. Пространственная коадаптация популяций. «Танцы» перроновских векторов	46
Ипатов А. А., Литвинчук С. Ю., Дьянов Д. Ю. Влияние параметров модели полностью насыщенного материала Био на динамический отклик	47
Казарников А. В. Об одной модели распространения нервного импульса	48
Карякин М. И. Численно-аналитическое исследование нелинейно-упругих моделей биологических тканей с использованием средств компьютерной алгебры	49
Карпинский Д. Н., Бычков А. А., Роменская Е. С. Анализ методов восстановления деформационных свойств биомолекул по данным атомно-силового микроскопа	50
Кириллова И. М. Биомеханическое описание роста корневой системы растений	51
Кириллова И. В., Коссович Л. Ю., Кудяшев А. Л. Проблема выработки биомеханических критериев успешности реконструктивного хирургического вмешательства на элементах позвоночно-тазового комплекса	53
Кислухин В. В., Кислухина Е. В. Описание диффузии и поглощения веществ, основанное на стохастическом характере движения крови по микрососудам	54
Киченко А. А., Гороженинова Т. Н. Математическое моделирование адаптационных процессов в губчатой костной ткани для различных условий нагружения	55
Клишкова Т. А., Аксенов А. Ю. Виртуальная физическая реабилитация	56
Колесникова А. С., Голядкина А. А., Кириллова И. В., Коссович Л. Ю. Разработка концепции систем поддержки принятия решений	57
Кондратьев В. С. Расчет неоднородных цилиндрических структур и приложения к измерению волновых процессов в мягких тканях	58
Корников В. В. Статистическое оценивание влияния ряда параметров глаза на внутриглазное давление	59
Королева Е. В., Семенова Е. В., Балтина Т. В. Построение тензора структуры по данным томографии	60
Котмакова А. А., Гатаулин Я. А., Юхнев А. Д. Исследование закрученного течения в моделях бифуркации сонной артерии со стенозом . .	61
Кручинин П. А. Механические модели и интерпретация результатов стабилометрических исследований	62
Кочубей П. В., Копылова Г. В., Щепкин Д. В., Бершицкий С. Ю. Обработка мышечных волокон перекисью водорода подавляет актин-миозиновое взаимодействие, но не влияет на его Ca^{2+} чувствительность	64
Курсанов А. Г., Зверев В. С., Соловьева О. Э. Трёхмерная конечно-элементная математическая модель прямоугольных и клиновидных образцов миокардиальной ткани	66

Кучумов А. Г., Самарцев В. А. Биомеханическое моделирование хирургических вмешательств при лечении желчнокаменной болезни и её осложнений	67
Кручинина А. П. Математические модели одиночной саккады глаза как оптимального движения	69
Логвенков С. А., Моисеева И. Н., Штейн А. А., Юдина Е. Н. Многофазная трехмерная модель клеточной подвижности в раннем эмбриогенезе	70
Лунёва А. Д., Колесникова А. С., Кириллова И. В., Коссович Л. Ю. Алгоритм контурной сегментации изображения и построения 3D моделей костных систем	72
Лысенко С. А. Моделирование химических процессов в живых организмах с помощью системы Шнакенберга	74
Макевнина В. В. Биомеханическое моделирование трахеобронхиального дерева человека	75
Мельник А. В., Ло С. Х., Огден Р. У. Гиперупругий закон состояния для миокарда, основанный на методе обобщенного тензора структуры, примененном к инварианту I8	77
Морнев О. А. Новое из биофизики возбудимых сред: псевдоградиентные системы	78
Михасев Г. И. Свободные колебания реконструированного среднего уха, подвергнутого тимпанопластике и стапедотомии	81
Моисеева И. Н., Любимов Г. А., Штейн А. А., Иомдина Е. Н., Арчаков А. Ю. Диагностические возможности совместного использования дифференциальной тонометрии по Шютцу и Маклакову	82
Москвин А. С. Физические модели лиганд-активируемых ионных каналов	84
Набиев С. Р., Кубасова Н. А., Матюшенко А. М., Левицкий Д. И., Цатурян А. К. Биомеханические аспекты кальциевой регуляции мышечного сокращения	85
Наседкин А. В. Исследование эффективности излучателей медицинского ультразвука из пористой пьезокерамики с модифицированными интерфейсными свойствами	86
Наседкина А. А., Наседкин А. В., Раджагопал А. Конечно-элементный анализ эффективности тарелкообразного излучателя для ингаляционной терапии в зависимости от свойств композитной пьезокерамики .	88
Негреева М. Б., Ульянов В. С. Информационные технологии в исследовании экологически обусловленных заболеваний опорно-двигательной системы	90
Недин Р. Д., Дударев В. В., Юров В. О. Анализ влияния факторов предварительного состояния на пьезоэлектрические свойства костной ткани	91
Нестеров С. А. Об особенностях идентификации теплофизических свойств биологических тканей	92
Никитин В. Н., Тверье В. М. Биомеханические нагрузки в процессе коррекции прикуса зубочелюстной системы человека	93

Новиков О. И., Еремин А. А. Оценка декремента затухания бегущих упругих волн в слоистых биополимерных материалах	94
Напрасников В. В., Соловьев А. Н. Идентификация прижимных усилий на основе нейронной сети	95
Няшин Ю. И. Развитие концепции «Виртуальный физиологический человек»	96
Перельмутер М. Н., Олесова В. Н. Биомеханика керамического и титанового внутрикостных дентальных имплантатов	98
Петров А. Н., Игумнов Л. А., Белов А. А. Численно-аналитическое моделирование динамического отклика в частично насыщенной порупругой среде	100
Плотников Д. К., Поддубный А. А. Об индентировании биологических тканей	101
Поздин Н. В., Акулич Ю. В. Численная оценка потенциальной энергии мышц и сухожилий нижней конечности человека при стоянии на цыпочках	102
Потетюнко О. А. Исследование деформирования решетчатой пластинки на основе модели Кармана	104
Пустовалова О. Г. Численно-аналитическое моделирование линейных дефектов в биологических тканях	105
Радченко Я. Ф., Гатаулин Я. А., Юхнев А. Д., Вавилов В. Н., Врaбий А. А., Моисеев А. А. Закрученное течение в протезе кровеносного сосуда со спиральной насечкой	106
Ревина С. В., Кириченко О. В. Моделирование живых систем: движение фитопланктона в океане	107
Сёмин Ф. А., Зберия М. В. Применение многомасштабной модели левого желудочка сердца для исследования нарушений его насосной функции при патологиях сосудистого русла	108
Саламатова В. Ю. Об определяющих соотношениях для мягких тканей .	109
Сафронова М. А., Коренбаум В. И. Оценка нелинейности свистящих звуков форсированного выдоха человека по составу и соотношению спектральных гармоник	110
Саченков О. А., Мухин Д. А., Харин Н. В., Воробьев О. В., Яикова В. В. Построение конечно-элементной модели органа из костной ткани по данным томографии	112
Саченков О. А., Харин Н. В., Воробьев О. В., Герасимов О. В., Яикова В. В. Определение ортотропных свойств костной ткани по данным томографии	113
Скрипаченко К. К., Голядкина А. А., Мурылев В. В., Челнокова Н. О. Конечно-элементное моделирование сочетанной патологии корня аорты	114
Стадник Н. Э. Расчет напряженного состояния кровеносного сосуда в условиях патологического роста	115

Сульман Т. Б., Докучаев А. Д., Кацнельсон Л. Б. Сопряжение математической модели механической активности с электрофизиологической моделью О'Нага-Rudy кардиомиоцита человека	116
Тверье В. М. Биомеханическое давление в зубочелюстной системе человека	118
Тиманин Е. М., Фомина Е. С., Веремьева М. В., Дьяченко А. И. Математическое моделирование и экспериментальное исследование распространения упругих волн по грудной клетке человека	119
Углич П. С. Обратная задача о восстановлении механических характеристик слоистой биологической ткани	120
Устинов Ю. А., Портнов Е. Н., Батищев В. А. Математическое моделирование пульсовых спиральных течений крови в некоторых отделах артериальной системы. Обзор исследований	121
Франус Д. В. Изменение напряженно-деформированного состояния скелеры при наложении вакуумного кольца	122
Фрейдин А. Б. Конфигурационные силы в биомеханике роста	123
Харитонов А. А., Антонев В. А. Артикуляция в контексте эффекта Ломбарда	124
Хашба В. Н. Механика продольного роста аксонов	126
Цибулин В. Г., Епифанов А. В. Модели сосуществования видов на неоднородных ареалах: косимметричные сценарии и численный эксперимент	127
Шадрина Н. Х. Модель сосуда с активной стенкой	128
Шамик В. Б., Ковалев М. С., Франциянц К. Г., Шамик П. В. Влияние ускоренного роста ребер на формирование деформации грудной клетки	129
Шилько С. В. Деформационная совместимость имплантатов с биологическими тканями	130
Ширяев А. Д., Коренбаум В. И. Особенности трансторакального звукопроводения, выявляемые зондированием сложными сигналами в частотных диапазонах 80–1000 Гц и 10–19 кГц	132
Штейн А. А., Моисеева И. Н. Исследование механического поведения глазного яблока с учетом неоднородности упругих свойств переднего отдела	134
Яковенко А. А. Внедрение индентора с постоянной скоростью в биологическую ткань	136

Подписано в печать 22.05.2018 г.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Формат 60×84 1/16.

Усл. печ. лист. 8,25. Уч. изд. л. 9,24. Заказ № 6389. Тираж 200 экз.

Отпечатано в отделе полиграфической, корпоративной и сувенирной продукции
Издательско-полиграфического комплекса КИБИ МЕДИА ЦЕНТРА ЮФУ.

344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 200/1, тел (863) 243-41-66.