

## О ЗАВИСИМОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОСТНОГО ЦЕМЕНТА ОТ ПОРИСТОСТИ\*

А.Ю. Смолин, Г.М. Еремина, И.П. Мартышина

*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, Россия*

Значительная часть операций по эндопротезированию тазобедренного и коленного суставов осуществляется по цементной технологии. Это определяет актуальность биомеханической совместимости костного цемента, который является пористым материалом и после операции наполняется биологической жидкостью. Разработана компьютерная модель механического поведения пористого костного цемента с явно-неявным учетом пор различного масштаба, где явно учитываются «изолированные» макропоры. Изучение проводилось на основе многоуровневого компьютерного моделирования с использованием метода подвижных клеточных автоматов. Механическое поведение модельных образцов, как сухих, так и содержащих биологическую жидкость, исследовалось при одноосном сжатии и четырехточечном изгибе. Выявлены нелинейные особенности в зависимостях упругих и прочностных свойств костного цемента при сжатии от пористости.

**Ключевые слова:** *костный цемент, пористость, модуль упругости, прочность, численное моделирование.*

### Введение

Асептическое расшатывание бедренного компонента является одним из главных недостатков полного и поверхностного эндопротезирования тазобедренного сустава как по цементной, так и бесцементной технологии, а также причиной проведения ревизионных операций [1]. Для снижения риска асептической нестабильности при поверхностном эндопротезировании предлагается цементирование. При этом очень хорошо себя зарекомендовали цементные составы на основе полиметилметакрилата (РММА) [2].

Исследование влияния свойств костного цемента на риск резорбции ткани проводится *in vitro*. Основное внимание сосредоточено на жесткости и прочности композиции «кость – цемент» при различных методиках испытания [3]. Однако с помощью экспериментов на живых и препарированных животных *in vivo* и *in vitro* полностью определить те механические процессы, которые происходят в костной ткани в момент нагружения, невозможно. Компьютерное моделирование позволяет провести исследования в широком диапазоне варьирования различных параметров материала. Численные исследования в данном направлении проводятся на макро- и мезоуровнях. Моделирование на мезоуровне направлено преимущественно на выявление факторов влияния структуры связующего материала (костного цемента) на эффективные механические характеристики и дальнейшую разработку дизайна импланта и совершенствование технологии цементирования.

Первый этап работ включает в себя исследование эффективных механических характеристик цемента с целью оптимизации его состава и структуры [4–6]. Второй этап подразумевает исследование механического поведения зоны «кость – имплант» с учетом послойной структуры модельных образцов элементарной формы. В литературе представлено много исследований, посвященных влиянию параметров пористости костного цемента на его биосовместимость [7]. Помимо основной функции – фиксации импланта – слой костного цемента выполняет еще функцию поглощения механической энергии в переходной зоне между материалом импланта с модулем упругости 50–200 ГПа и губчатой костной тканью с модулем упругости 0.5–2.5 ГПа [8, 9]. Поэтому многие авторы считают, что оптимальным является использование малопористого костного цемента с механическими свойствами, значение которых занимает промежуточное положение между свойствами импланта и костной ткани. Кроме того, высокопористый костный цемент обладает низкими значениями механических характеристик [10]. Поэтому в настоящее время активно разрабатываются способы уменьшения исходной пористости цемента при заполнении контактной области «кость – имплант» [11, 12].

Цель данной работы – выявление особенностей упругих и прочностных свойств костного цемента с помощью многоуровневого компьютерного моделирования на основе метода подвижных

\* Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-009.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала  
**«Известия высших учебных заведений. Физика»**  
осуществляется на платформе  
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU  
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>