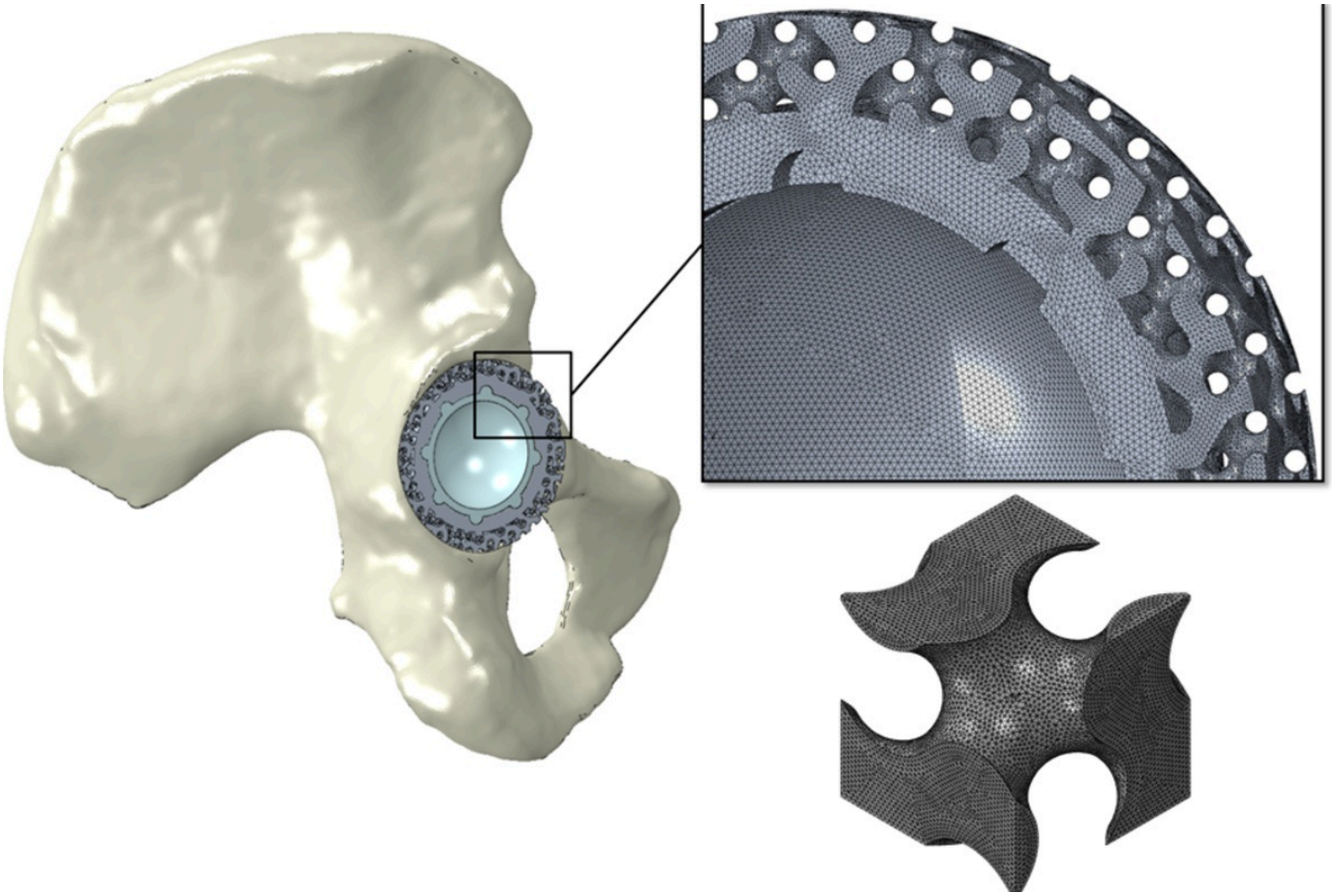
Суставы со «скелетом» внутри: ученые Политеха создали имплантаты, в которые кость врастает сама

Ученые Передовой инженерной школы Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (ПИШ СПбПУ) «Цифровой инжиниринг» нашли решение сложной проблемы протезирования суставов. Чтобы избежать конфликта инородного тела и костной ткани, политехники предложили превратить сплошной металлический протез в тонкостенную, но невероятно прочную сетку.



Искусственный сустав — это всегда риск. Даже идеально установленный металлический имплантат со временем может расшататься, и пациенту потребуется повторная мучительная операция. Причина в физической неоднородности тканей: сталь или титан слишком жесткие, они «отбирают» нагрузку у кости, и та, оставшись без работы, атрофируется и разрушается. Вместо монолитной болванки инженеры используют мета-биоматериалы — сложные решетчатые структуры, которые как пчелиные соты пронизывают весь объем имплантата.

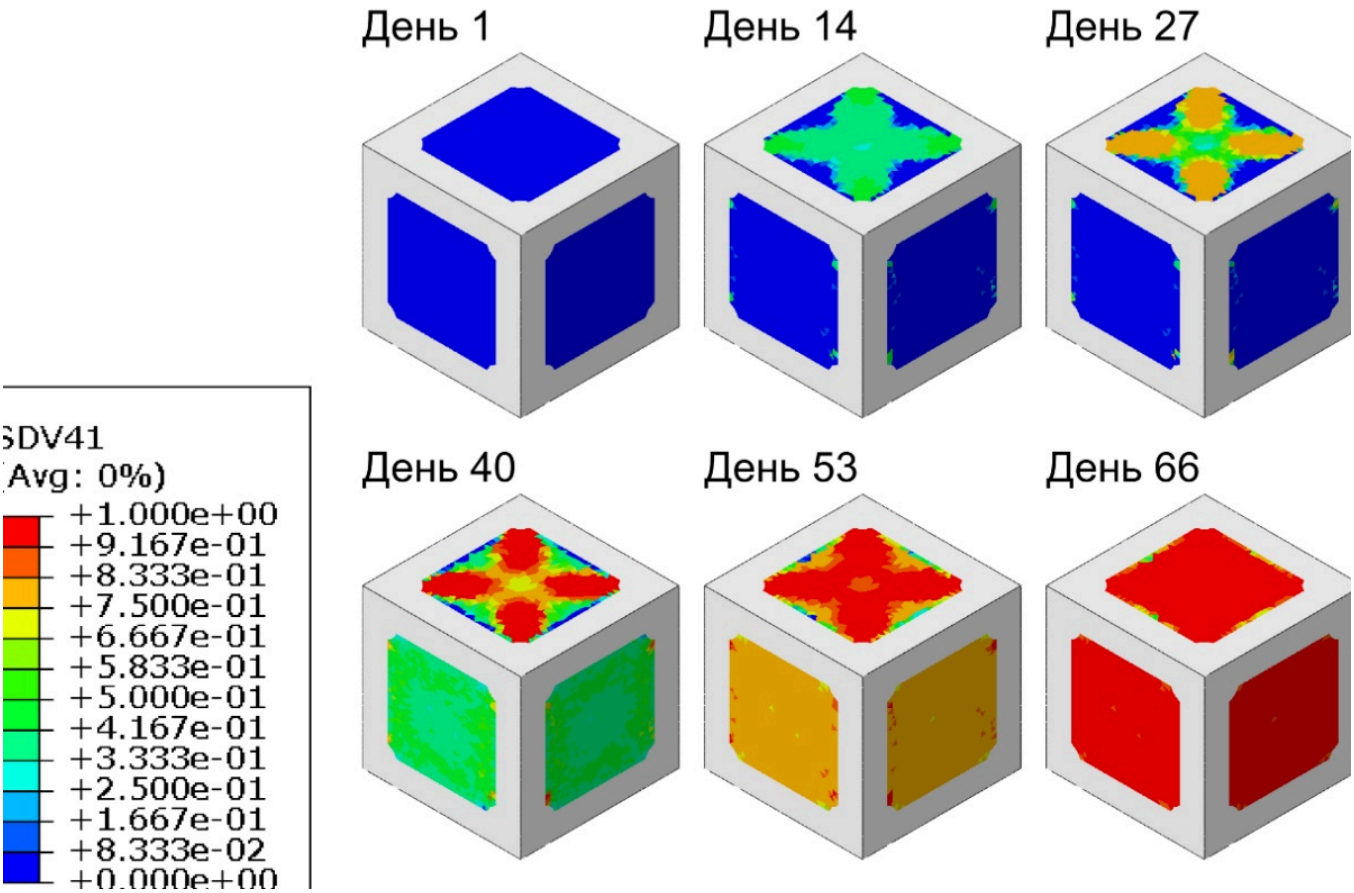
На этапе цифрового проектирования ученые могут гибко менять геометрию этих ячеек. В результате жесткость имплантата может обоснованно

меняться в зависимости от жесткости кости конкретного пациента. Когда жесткости совпадают, нагрузка при ходьбе распределяется физиологично. Кость не «отдыхает» рядом с титаном, а работает в прежнем режиме.

Но самое интересное — пустоты внутри сетки. Эти поры работают как идеальные строительные леса для организма. Жидкость и микродеформации внутри ячеек служат сигналом для стволовых клеток, заставляя их активно строить новую костную ткань прямо внутри металлического каркаса.

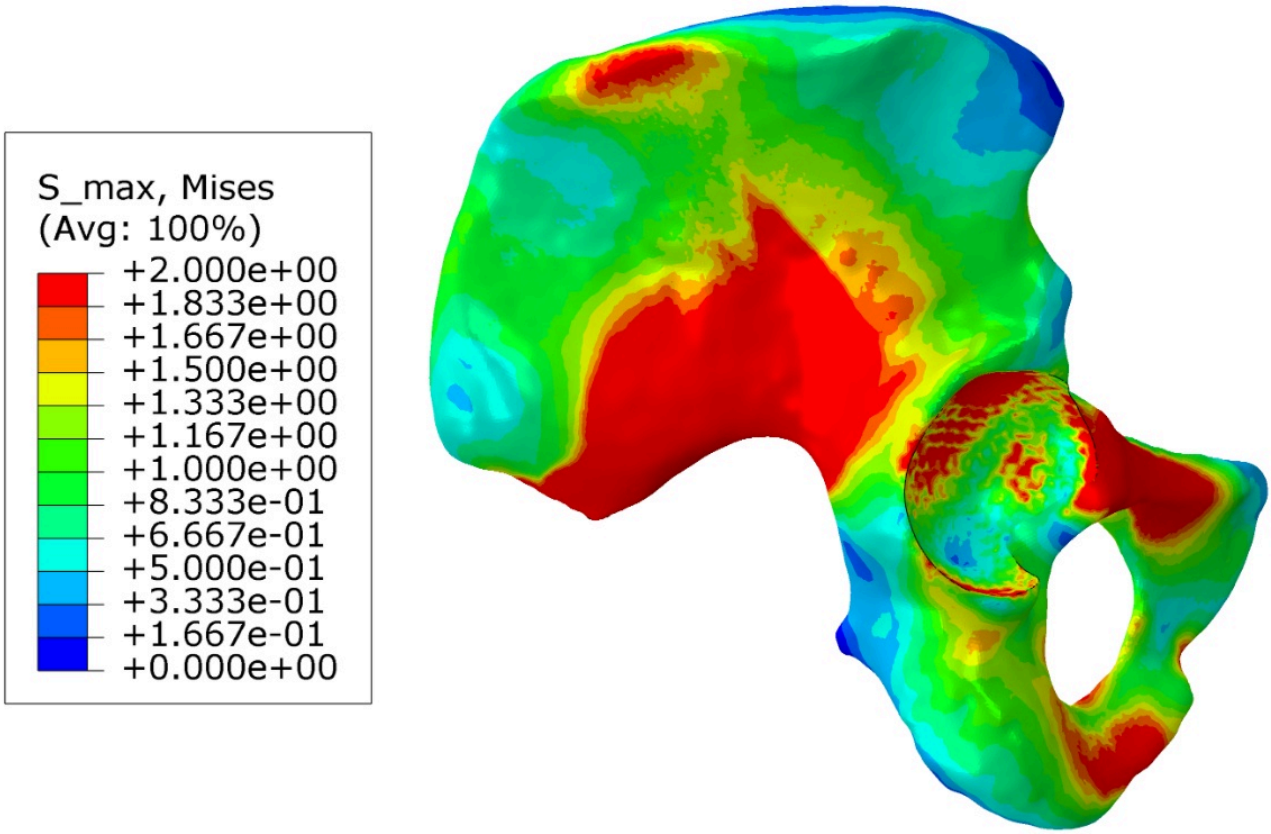
Мы хотели, чтобы имплантат перестал быть просто инертной опорой и стал активной средой, которая сама направляет регенерацию. Управляя геометрией ячейки, мы фактически программируем материал: задаем ему нужную жесткость под конкретные свойства кости, а также создаем внутри пор условия для роста новой ткани. Свойства будущего имплантата закладываются на этапе цифрового проектирования, — поясняет ведущий инженер ПИШ СПбПУ Михаил Жмайло.

Чтобы убедиться в эффективности разработки, команда провела масштабное цифровое и физическое моделирование. Самое впечатляющее доказательство — это математическое и компьютерное моделирование регенерации кости на уровне одной микроскопической ячейки.



Прежде чем напечатать протезы на 3D-принтере из титанового сплава,

ученые собрали их точнейшие цифровые копии (конечно-элементные модели). Эти суперкомпьютерные модели испытывали на прочность в семи сценариях: от спокойной ходьбы пациента до резкого подъема по лестнице и вставания со стула.



Цифровые испытания показали отличные результаты: ни в одном из сценариев напряжения не достигли критических значений. Оказалось, что для бедренной кости лучше всего подходят решетчатые структуры типа Diamond, а для сложной анатомии таза — поверхностная структура Gyroid, которая дала минимальные напряжения как в самом имплантате, так и в окружающей кортикальной кости.

Главный итог работы — методология предсказательного и доказательного проектирования. Директор Передовой инженерной школы СПбПУ «Цифровой инжиниринг», научный руководитель проекта Алексей Боровков подчеркивает: Основной результат — это не одна конкретная конструкция, а методология и база знаний, с которыми можно проектировать имплантаты с предсказуемым поведением под конкретную клиническую задачу. Эндопротез тазобедренного сустава здесь служит наглядным примером-демонстратором, который подтверждает, что метод работает. В перспективе мы сможем создавать имплантаты разной локализации, настроенные под анатомию и образ жизни конкретного пациента. Речь идет о переходе к доказательному проектированию ортопедических конструкций нового

поколения.

Следующий шаг — изготовление подобных индивидуальных протезов и их клиническая апробация. В ближайшие два года в рамках гранта Российского научного фонда ученые продолжат исследования и планируют адаптировать эту технологию для создания полимерных имплантатов позвоночника.

Дата публикации: 2026.08.05

>>Перейти к новости

>>Перейти ко всем новостям