

УДК 004.942-001.57:616-001.514:611.718

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТРАМЕДУЛЛЯРНЫХ
СТЕРЖНЕЙ ДЛЯ ОСТЕОСИНТЕЗА НА ОСНОВЕ
КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
АНАТОМИЧЕСКОЙ ФОРМЫ БЕДРЕННОЙ КОСТИ ЧЕЛОВЕКА**

¹Барабаш Ю.А., ¹Барабаш А.П., ¹Норкин И.А., ²Иванов Д.В.

¹ФГБУ «СарНИИТО» Минздрава России, Саратов, e-mail: sarniito@yandex.ru;

²Национальный исследовательский Саратовский государственный университет
имени Н.Г. Чернышевского, Саратов, e-mail: ivanovdv@gmail.com

Лечение диафизарных переломов бедренной кости сопровождается развитием осложнений от 6,8% до 42,6%. Единственный путь к профилактике осложнений и снижению процента выхода пациентов на инвалидность – разработка фиксаторов с учетом инженерно-биологических факторов. Целью нашего исследования явилась разработка интрамедуллярного стержня нового дизайна на основе его соответствия анатомической форме костномозгового канала бедренной кости и физиологичности регенераторных процессов. Для решения теоретических задач разработки новой технологии остеосинтеза бедренной кости мы привлекли методику компьютерного моделирования систем «кость-фиксатор» на основе компьютерной томографии сегмента. Выявленные анатомические особенности бедренной кости человека легли в основу проектирования интрамедуллярного стержня, нивелирующего отрицательные стороны фиксаторов с поперечным блокированием за счет анатомически более обоснованных точек фиксации к кости, способному к самодинамизации и учитывающим физиологию сегмента.

Ключевые слова: длинные кости, интрамедуллярный остеосинтез, биомеханика, компьютерное моделирование

**INTRAMEDULLAR RODS DESIGNING FOR OSTEOSYNTHESIS
ON THE BASIS OF HUMAN FEMORAL BONE COMPUTER 3D MODELING**

¹Barabash Y.A., ¹Barabash A.P., ¹Norkin I.A., ²Ivanov D.V.

¹Federal Government-Financed Institution «Saratov Research Institute of Traumatology
and Orthopaedics» of Ministry of Public Health of the Russian Federation
(FGBU «SarNIITO» of Minzdrava of Russia), Saratov, e-mail: sarniito@yandex.ru;

²National Research Saratov State University n.a. N.G. Chtrnyshevsky,
Saratov, e-mail: ivanovdv@gmail.com

Development of anchors with the regard to engineering and biological factors is the only way to avoid complications and disability. The aim of the present study is the presentation of new-design intramedullar rod considering the anatomic shape of femoral bone medullary canal. We used «bone-anchor» computer modeling with segment CT to create new technology of femoral osteosynthesis. Anatomic features of human femoral bone have become the basis of intramedullar rod designing. This new rod downplays disadvantages of lateral blocking rods having fixation points which are anatomically sound, able to dynamicize and physiologically relevant with respect to the segment.

Keywords: long bones, intramedullar osteosynthesis, biomechanics, computer modeling, effective stress von Mises, system «bone-anchor»

Оптимизация хирургического лечения диафизарных переломов длинных костей с учетом инженерно-биологических факторов – единственный путь к профилактике компрометации остеогенеза и снижению процента выхода пациентов на инвалидность [3]. Неудовлетворительные результаты лечения порождают многообразие изделий и способов для скрепления отломков. Анализ патентных документов за последние 50 лет показал эволюцию технической мысли. Самым перспективным направлением в конструировании изделий для интрамедуллярного остеосинтеза следует признать фиксацию отломков с внутренней блокировкой стержня в костномозговом канале кости. К сожалению, общая тенденция рынка медицинских изделий с ориентацией

на импорт не способствует внедрению отечественной медицинской продукции.

Кроме этого блокируемые интрамедуллярные стержни распространенные в травматологии и ортопедии имеют серьезные недостатки, с позиции физиологии кости. Стержень заполняет весь просвет костномозгового канала, блокирует внутрикостную систему кровоснабжения, шинирует силовые нагрузки на конечность, между отломками формируется резорбционный диастаз, костеобразование замедляется. Система «кость-фиксатор» статична, управляемость репаративными процессами в этих условиях невозможна без повторных оперативных вмешательств по динамизации системы. Возникает проблема ротационных перегрузок на поперечно введенные блокировочные

винты. Данные факты приводят к развитию осложнений, которые встречаются довольно часто: от 6,8% до 42,6%, инфекционные осложнения от 2,8% до 9,6%, замедленное сращение и ложный сустав в 13,3% случаях, контрактуры в 9,7% случаях, перелом металлоконструкции – 1,3% [2, 4].

Исходя из известного, конструкция стержней нового дизайна по форме должна быть адекватна внутренней архитектонике бедренной кости и не иметь шунтирующего эффекта, а мышечная сила сегмента конечности выполняла бы свою функцию – аутокомпрессию на стыке отломков.

Целью нашего исследования явилась разработка интрамедуллярного стержня нового дизайна на основе его соответствия анатомической форме костномозгового канала бедренной кости и физиологичности регенераторных процессов.

Для решения доклинических задач основанных на теоретических предпосылках создания новой технологии интрамедуллярного остеосинтеза мы привлекли методику компьютерного моделирования систем «кость-фиксатор» и метод количественной оценки нагрузений (конечных элементов) [1, 5, 6, 7, 8].

Материалы и методы исследования

Объектом исследования тенденций развития интрамедуллярного остеосинтеза явилась патентная документация за последние 50 лет (250 источников).

Другим объектом исследования служили компьютерные томограммы (20 условно здоровых пациентов) и рентгенограммы бедренной кости человека в возрасте от 30 до 40 лет (90 чел.), а так же интрамедуллярные стержни.

Компьютерные томограммы сегмента бедра выполнены на спиральном компьютерном томографе Philips «MX 8000» производства Нидерландов (рег. удостоверение МЗ РФ № 2003/397 от 20.03.2003 г.), а рентгеновские снимки – на рентгеновском цифровом аппарате «Apelem DX-90» производства

Франции (рег. удостоверение МЗ РФ № 2002/399 от 18.06.2002 г.). Томограммы бедренной кости обрабатывались в специализированном программном продукте Mimics [8], позволяющем выстраивать трехмерные модели биологических объектов.

Каждая томограмма разделялась на снимки поперечных срезов, которые сохранялись на жесткий диск в виде отдельных файлов изображений. Каждый снимок экспортировался из программы-просмотрщика в специализированный программный продукт SolidWorks [5], где на основе срезов строились трехмерные геометрические модели бедренных костей. Расстояния между срезами масштабировались в соответствии с масштабом изображений на картинках. Срезы обрисовывались сплайнами, которые затем соединялись в объемную модель операцией протягивания. Дополнительно достраивались направляющие сплайны, задающие боковые поверхности кости. Внутрикостный канал получался с помощью булевых операций вычитания и сложения, применяемых для объемов кости и внутрикостного канала (рис. 1).

Построение трехмерных геометрических моделей бедренной кости человека на основе компьютерных томограмм, базировалось на частоте срезов 3 мм. На участках с небольшими изменениями геометрии кости брали частоту срезов 5–10 мм.

Полученные модели бедренных костей использовались для морфометрических измерений. По аналогичной программе строились модели интрамедуллярного стержня нового дизайна. Изометрические модели кости и стержня сопоставлялись и на основе морфометрических данных предложен стержень Car-NIITO (патент РФ № 115646).

Результаты исследования и их обсуждение

В проксимальной части бедренной кости найдена своеобразная внутренняя архитектоника метафиза с изменяющейся величиной костномозговой полости от $54 \pm 1,6$ мм в шейечной зоне бедренной кости до $31 \pm 1,3$ мм в области середины малого вертела.

Обрисовка внутренней поверхности поперечных срезов томограмм на уровне малого вертела представлена на рис. 2.

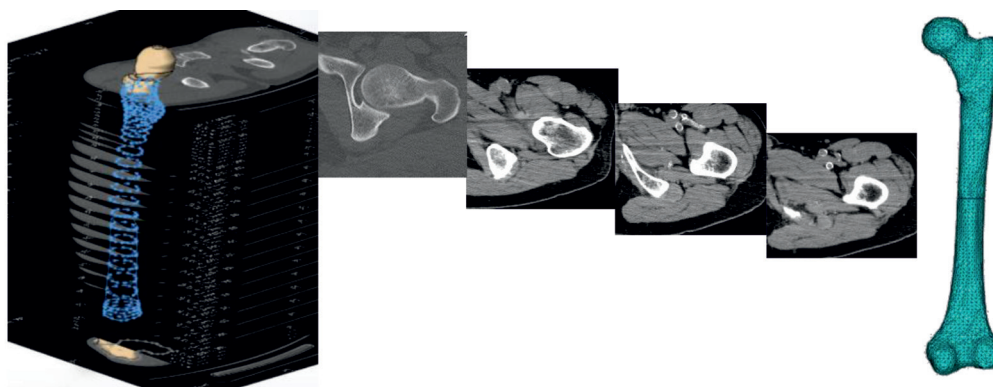


Рис. 1. Воспроизведение трехмерной геометрии бедренной кости на основе компьютерной томографии сегмента

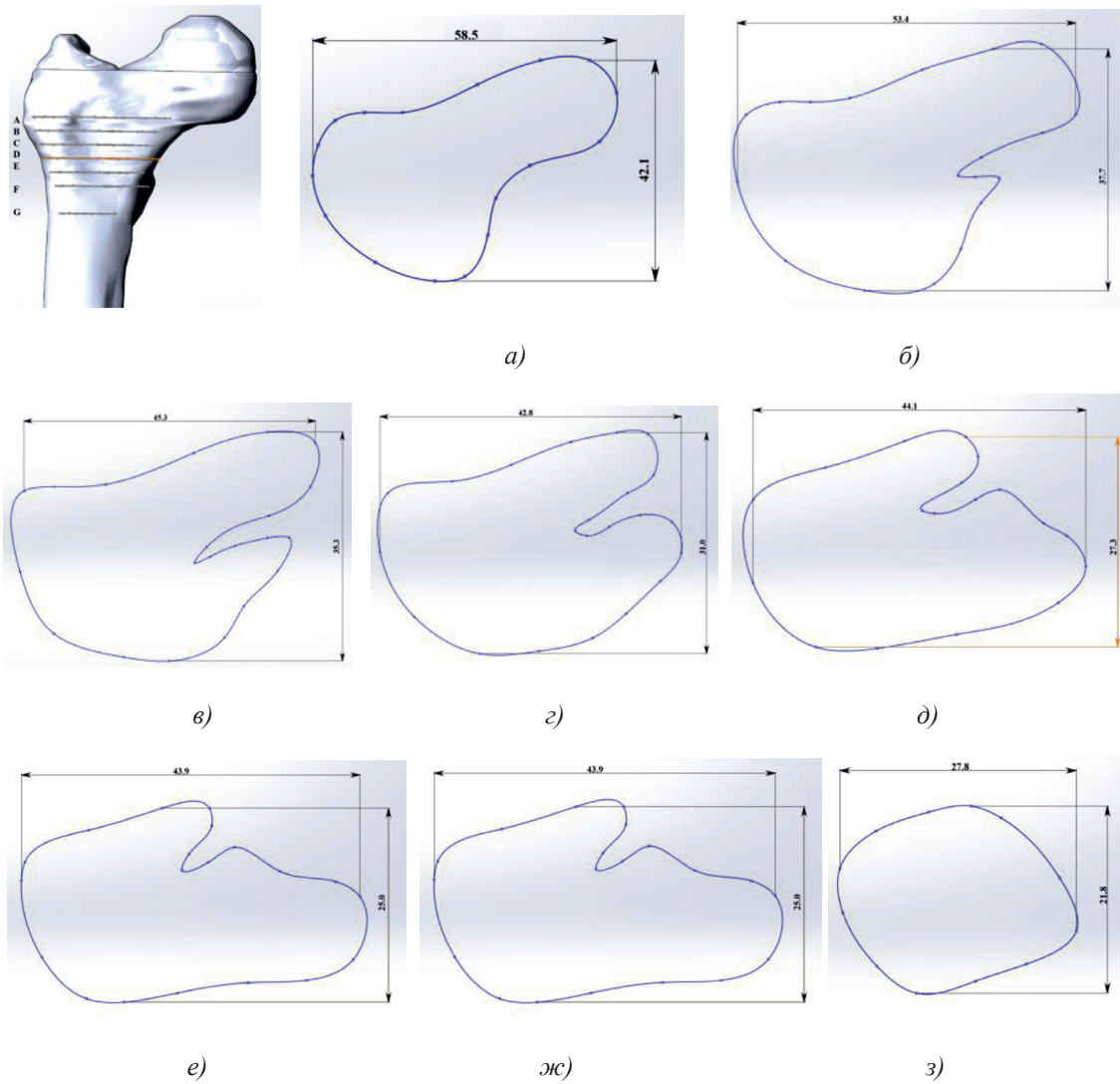


Рис. 2. Формы и размеры сечений бедренной кости (а–з) на уровне вертельной зоны

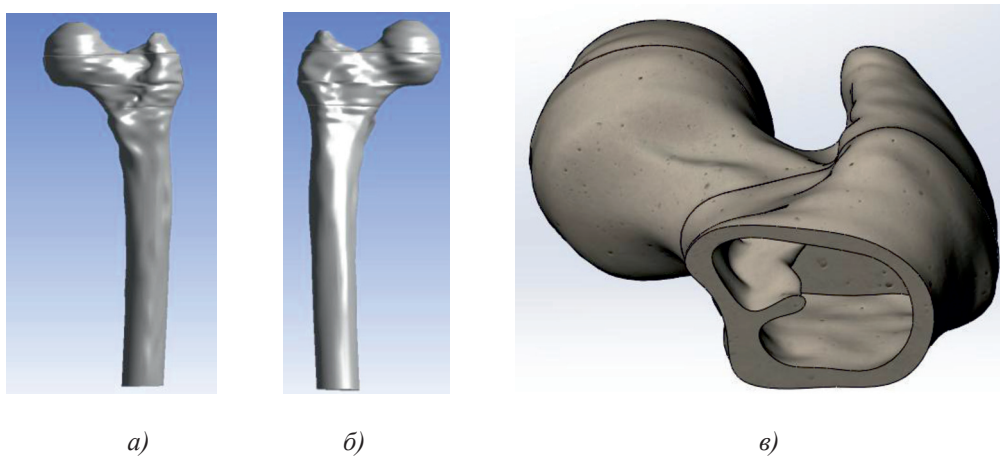


Рис. 3. Изометрический вид бедренной кости: а) вид спереди; б) сзади; в) Поперечный срез бедренной кости на уровне малого вертела (вид снизу)

Оказалось, что дуга Адамса шейки бедренной кости усиливается костной структурой по внутренней поверхности бедра в зоне малого вертела. Это костная балка-ребро начинает проявляться от сечения В до Д и занимает 18 мм. Выступ в канале (ребро) достигает 8–10 мм.

Изометрическая модель бедренной кости дополнила картину внутреннего строения костномозговой части бедра (рис. 3).

Анатомические особенности бедренной кости сопряжены с широким проксимальным концом метафизарной структуры (40–54 мм) с последующим сужением костномозгового канала (с 16,5 до 14,4 мм) в проксимальной части диафиза с последующим максимальным анатомическим сужением (12,7–14,4 мм) на протяжении 45 мм средней части диафиза переходящее в плавное физиологическое расширение (с 15 до 52 мм) в области мышечков бедра. Такое сложное анатомическое строение бедренной кости предполагает необходимость аналогичной формы фиксаторов. А выявленный в ходе исследования костный гребень в метафизарной части, предполагает его использование в качестве антиротационного стабилизатора (а не его разрушение при сверлении, как выполняется при операциях сейчас).

На основе построенных изометрических моделей бедренной кости и интрамедуллярных стержней в системе SolidWorks создавалась их система (рис. 4).

На основе морфометрических данных проксимального отдела бедренной кости и необходимости самодинамизации си-

стемы «кость-фиксатор», нами разработан интрамедуллярный стержень (патент РФ № 115646/ Барабаш А.П., Норкин И.А., Барабаш Ю.А., 2012), который учитывает анатомические особенности кости, описанные ранее и имеет расширения в проксимальной и дистальной частях.

В общих чертах «устройство...» напоминает форму «ракеты», внутри имеет канал для упругого элемента блокирования в одном из мышечков бедренной кости. Трехреберная, разновеликая наружная поверхность проксимальной части стержня адаптирована под анатомию проксимального отдела бедренной кости. Эти конструктивные особенности исключают ротационную подвижность отломков, при этом костный гребень выступающий в костномозговой канал, располагается между ребрами стержня. Площадь контакта с костной массой увеличивается в разы. Отсутствие поперечной блокировки (винтов) создает возможность самодинамизации системы.

Дистальная часть стержня имеет 2 отверстия. На конце – для введения кортикального винта в поперечном направлении, другое – овальное под углом связанное с каналом стержня. Через него выходит гибкий, упругий элемент, проходя в дистальном метафизе, фиксируется в корковом слое мышечка бедра. Образцы стержней изготовлены из сплава стали в научно-производственном объединении «МедИнж» г. Пенза. Проводятся доклинические испытания по изучению биомеханических свойств и сертификация изделия, о которых сообщим дополнительно.

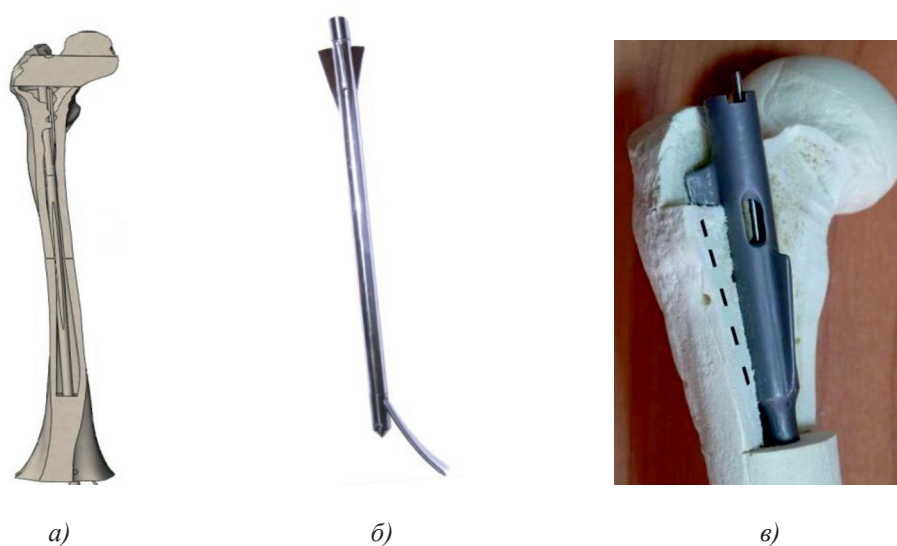


Рис. 4. Трехмерная модель системы «кость-фиксатор»: а) продольный разрез со стержнем нового дизайна (СарНИИТО); б) внешний вид стержня (патент РФ № 115646) и макет блокировки его в проксимальной метафизарной части бедра (в)

Заключение

Трехмерное компьютерное моделирование бедренной кости, стержня и построение системы «кость-фиксатор» позволило реализовать необходимость создания более анатомичного, самодинамизирующегося и физиологичного интрамедуллярного стержня нового дизайна. Однако, следует понимать, что при использовании нового стержня, верхний костный отломок может перемещаться в осевом направлении при запредельных нагрузениях, что компенсируется сокращением мышц бедра с созданием компрессии в месте перелома.

Результатом данного исследования стала разработка новой технологии остеосинтеза бедренной кости (на основе патента РФ № 115646).

Список литературы

1. Верховод А.Ю., Иванов Д.В. Применение метода конечных элементов для сравнительной оценки стабильности остеосинтеза оскольчатых диафизарных переломов костей голени блокируемыми интрамедуллярными стержнями и аппаратами наружной фиксации / А.Ю. Верховод,

Д.В. Иванов // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 4; URL: www.science-education.ru/104-6905

2. Дергачев В.В., Александров А.Н., Ванхальский С.Б. Интрамедуллярный блокирующий остеосинтез – современная методика, новые сложности, осложнения // «Травма» 4 (том 12) 2011.

3. Илизаров Г.А. Значение комплекса оптимальных механических и биологических факторов в регенераторном процессе при чрескостном остеосинтезе // Тез. докл. Всесоюз. симпоз. с участием иностранных специалистов «Эксперим.-теор. и клинические аспекты разрабатываемого в КНИИЭКОТ метода чрескостного остеосинтеза». – Курган, 1983. – С. 5–15.

4. Соколов В.А., Бялик Е.И., Иванов П.А., Эффективность малоинвазивных методов остеосинтеза при политравме // Политравма. – 2010. – № 4. – С. 17–23.

5. Соловьев В.М., Ирматов П.В., Ирматова М.С., Щербаков М.Г. Технология построения твердотельных моделей бедренных костей на основе данных компьютерной томографии. Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. – 2010. – Т. 10 Сер. Математика. Механика. Информатика, вып. 2. – С. 81–87.

6. Raji Nareliya, Veerendra Kumar. Biomechanical analysis of human femur bone. International journal of engineering science and technology, Apr 2011. – Vol. 3, № 4. – P. 3090–3094.

7. Mimics [Электронный ресурс]. – Belgium: Materialise, 2012. – Режим доступа <http://biomedical.materialise.com/>, свободный. – Загл. с экрана.

8. Tain-Hsiung Chen, Chen-Yulung, Cheng-Kung Cheng – Biomechanical Comparison of A New Stemless Hip Prosthesis with Different – A Finite Element Analysis \ Journal of Medical and Biological Engineering, 29(3): 2008. – P. 108–113.