

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ

УДК 616.718.4-089.86-053.2
DOI: 10.17816/PTORS5374-79

ПЛАНИРОВАНИЕ КОРРИГИРУЮЩЕЙ ОСТЕОТОМИИ БЕДРЕННОЙ КОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ. ЧАСТЬ II

© *В.Е. Басков, А.Г. Баиндурашвили, А.В. Филиппова, Д.Б. Барсуков, А.И. Краснов, И.Ю. Поздников, П.И. Бортулев*

ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург

Статья поступила в редакцию: 19.06.2017

Статья принята к печати: 21.08.2017

Введение. Все чаще в различных отраслях хирургии при планировании и выполнении оперативных вмешательств применяются 3D-моделирование и прототипирование. В ортопедии данная технология впервые появилась в 1990 г. при выполнении операции на коленном суставе. С тех пор началась разработка протоколов создания и применения индивидуальных шаблонов для навигации при хирургических вмешательствах на различных костях скелета.

Цель исследования — разработка нового трехмерного метода планирования и выполнения корригирующей остеотомии бедренной кости с использованием индивидуального шаблона, а также выявление преимуществ предложенного метода по сравнению со стандартной методикой планирования и выполнения оперативного вмешательства.

Материалы и методы. Представлен новый способ планирования и выполнения корригирующей остеотомии бедра у детей с различной патологией тазобедренного сустава. Проведен анализ результатов планирования и выполнения корригирующей остеотомии бедра у 27 пациентов в возрасте от 5 до 18 лет (32 тазобедренных сустава) с врожденной и приобретенной деформацией бедренной кости.

Заключение. Использование компьютерного 3D-моделирования при планировании и выполнении корригирующих вмешательств на бедренной кости улучшает результаты лечения за счет практически идеальной точности выполнения; минимизации возможных субъективных ошибок; сокращения времени операции; уменьшения лучевой нагрузки на пациента.

Ключевые слова: дети, корригирующая остеотомия бедра, 3D-моделирование, индивидуальный шаблон.

PLANNING CORRECTIVE OSTEOTOMY OF THE FEMORAL BONE USING THREE-DIMENSIONAL MODELING. PART II

© *V.E. Baskov, A.G. Baindurashvili, A.V. Filippova, D.B. Barsukov, A.I. Krasnov, I.Yu. Pozdnikov, P.I. Bortulev*

The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia

For citation: *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery.* 2017;5(3):74-79

Received: 19.06.2017

Accepted: 21.08.2017

Introduction. Three-dimensional (3D) modeling and prototyping are increasingly being used in various branches of surgery for planning and performing surgical interventions. In orthopedics, this technology was first used in 1990 for performing knee-joint surgery. This was followed by the development of protocols for creating and applying individual patterns for navigation in the surgical interventions for various bones.

Aim. The study aimed to develop a new 3D method for planning and performing corrective osteotomy of the femoral bone using an individual pattern and to identify the advantages of the proposed method in comparison with the standard method of planning and performing surgical intervention.

Materials and methods. A new method for planning and performing corrective osteotomy of the femoral bone in children with various pathologies of the hip joint is presented. The outcomes of planning and performing corrective osteotomy of the femoral bone in 27 patients aged 5 to 18 years (32 hip joints) with congenital and acquired deformity of the femoral bone were analyzed.

Conclusion. The use of computer 3D modeling for planning and implementing corrective interventions on the femoral bone improves the treatment results owing to an almost perfect performance accuracy achieved by the minimization of possible human errors reduction in the surgery duration; and reduction in the radiation exposure for the patient.

Keywords: children, correcting osteotomy of the hip, 3D-modeling, individual pattern.

Введение

В настоящее время 3D-технологии активно внедряются в повседневную медицинскую практику. 3D-моделирование и прототипирование применяются в различных отраслях хирургии при планировании и выполнении оперативных вмешательств. В ортопедии данная технология появилась в 1990 г., когда при эндопротезировании коленного сустава был использован изготовленный методом 3D-печати индивидуальный шаблон с ориентирами для проведения винтов [1, 2, 3]. С тех пор в зарубежной литературе все чаще упоминается о применении индивидуальных шаблонов для навигации при хирургических вмешательствах на различных костях скелета.

В первой части данной статьи [4] показано, как с помощью виртуального моделирования производятся точные расчеты необходимой коррекции угловых показателей для исправления деформации проксимального отдела бедренной кости. В представляемой второй части на конкретном клиническом примере продемонстрированы этапы прототипирования индивидуального шаблона и технические аспекты выполняемой с его помощью корригирующей остеотомии бедренной кости.

Цель исследования

Целью исследования является разработка нового трехмерного метода планирования и выполнения корригирующей остеотомии бедренной кости с использованием индивидуального шаблона, а также выявление преимуществ предложенного метода по сравнению со стандартной методикой планирования и выполнения оперативного вмешательства.

Материалы и методы

В работе представлен новый способ планирования и выполнения корригирующей остеотомии бедра у детей с различной патологией тазобедренного сустава (заявка на изобретение «Способ корригирующей остеотомии бедренной кости», при-

оритетная справка № 2016105166 от 16.02.2016). Проведен анализ результатов планирования и выполнения корригирующей остеотомии бедра у 27 пациентов в возрасте от 5 до 18 лет (32 тазобедренных сустава) с врожденной и приобретенной деформацией бедренной кости. Родители (или опекуны) всех детей добровольно подписали информированное согласие на участие в исследовании и выполнение хирургического вмешательства. Для 3D-моделирования использованы компьютерные томограммы бедренных костей тех же пациентов и комплекс адаптированного нами 3D-программного обеспечения. Для прототипирования использован 3D-принтер EnvisionTeC's ULTRA 3SP (компания EnvisionTeC, Германия).

Как уже было сказано, на этапе планирования выполнялось 3D-моделирование, вычислялись основные угловые параметры, такие как шеечно-диафизарный угол, угол антеверзии и размеры резецируемого (при необходимости) костного клина. На основе полученных данных поэтапно моделировалась корригирующая остеотомия бедренной кости [4]. Для точного «переноса» полученных результатов предоперационного 3D-моделирования в операционную рану нами разработан протокол создания индивидуального шаблона. Заложенная в шаблоне информация о направлении линий остеотомий, величине угла ротации, проведении ориентирующих спиц и фиксирующих винтов позволила спроецировать компьютерное изображение на бедренную кость и сделать процесс выполнения оперативного вмешательства максимально предсказуемым и минимально субъективным.

Клинический пример

Больной К., 16 лет. Диагноз: «Юношеский эпифизеолиз головки бедренной кости 3-й стадии справа, 1-й стадии слева». Клиническая картина: хромота на правую нижнюю конечность, относительное укорочение правой нижней конечности 1,5 см, правая нижняя конечность находится в положении наружной ротации в тазобедренном суставе 40°, внутренняя ротация в правом тазобедренном суставе отсутствует, положительный

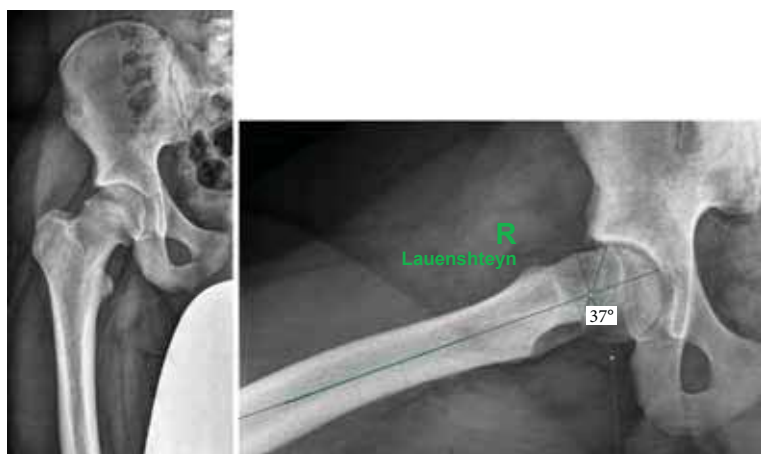


Рис. 1. Рентгенограммы больного К. (в прямой проекции и по Лауэнштейну) до хирургического лечения. Юношеский эпифизеолиз головки бедренной кости 3-й стадии справа

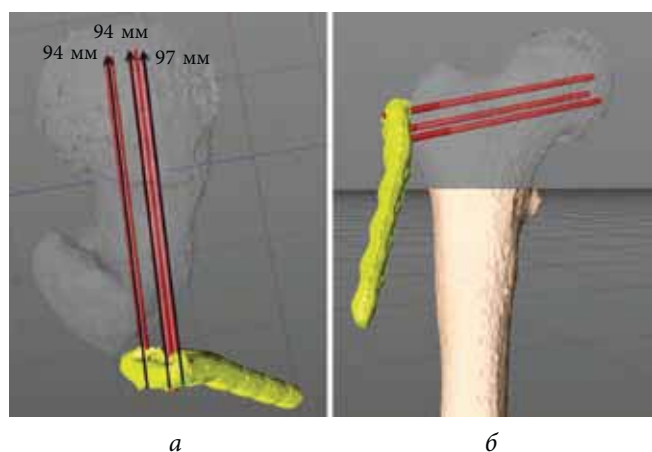


Рис. 2. Проведение направляющих спиц: *а* — вид сверху; *б* — вид спереди

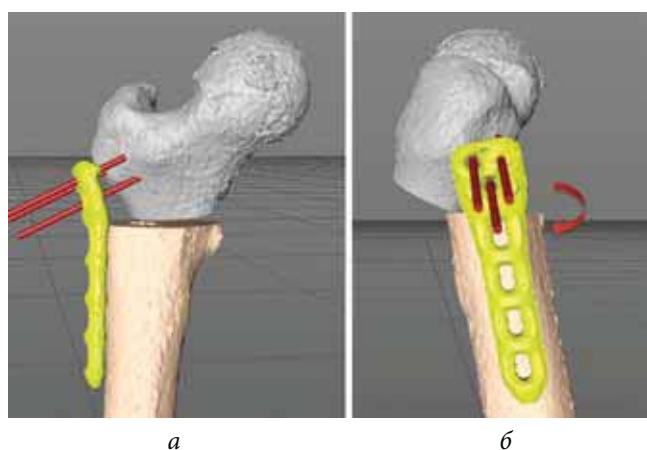


Рис. 3. Ожидаемый результат после корригирующей переднеротационной остеотомии: *а* — вид спереди; *б* — вид сбоку

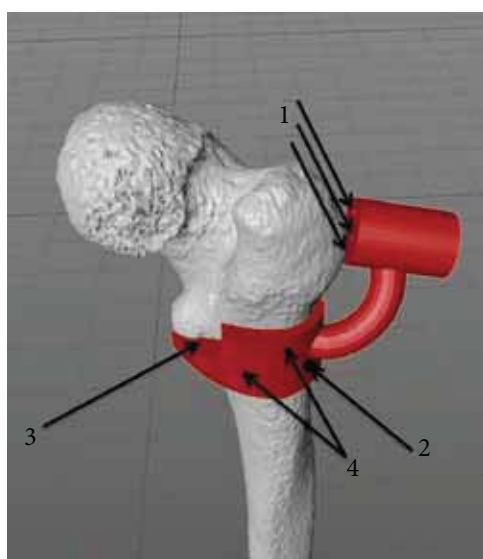


Рис. 4. Шаблон для проведения корригирующей переднеротационной остеотомии бедра: 1 — направляющая втулка; 2 — направляющая для винта; 3 — направляющая для остеотомии; 4 — отверстия для спиц Киршнера

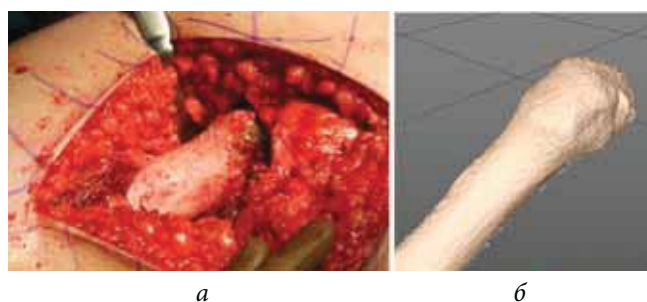


Рис. 5. Выделение межвертельной области: *а* — операционное поле; *б* — 3D-модель

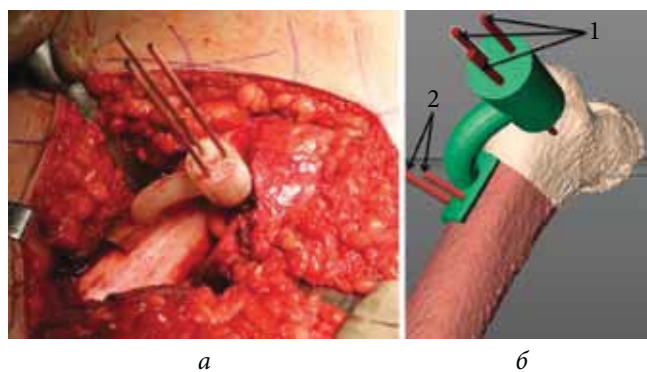


Рис. 6. Установка шаблона и проведение ориентирующих спиц: *а* — операционное поле; *б* — 3D-модель (1 — ориентирующие спицы; 2 — фиксирующие спицы Киршнера)

симптом Дремана справа (сгибание в тазобедренном суставе возможно только в положении наружной ротации). На рентгенограммах, выполненных в прямой проекции и по Лауэнштейну, определяется смещение эпифиза головки правой бедренной кости кзади на 37° (рис. 1).

Выбор в качестве клинического примера пациента с данной патологией обусловлен двумя основными причинами:

1) при юношеском эпифизеолизе головки бедренной кости часто развивается многоплоскостная деформация, требующая сложной многоплоскостной коррекции;

2) коррекция должна быть необходимо достаточной, но не превышать 50° ; в противном случае резко возрастает риск асептического некроза головки бедренной кости [2, 4, 5, 6].

Этапы создания индивидуального шаблона и выполнения с его помощью коррекции многоплоскостной деформации проксимального отдела бедренной кости следующие.

1. Производят 3D-моделирование корригирующей остеотомии бедренной кости [4].

2. Виртуально к проксимальному отделу бедренной кости направляющими спицами фиксируется пластина. При этом спицы проводятся с переднелатеральной поверхности бедренной кости через шейку в направлении на центр эпифиза головки бедренной кости, а продольная ось пластины располагается под углом необходимой коррекции к продольной оси пластины, в данном случае — 45° [7]. После того как выполнена виртуальная остеотомия, проксимальный отдел бедра вместе с пластиной ротируется до сопоставления диафизарной накладке пластины с дистальным фрагментом бедра. Основным преимуществом 3D-моделирования является возможность ориентировать винты на центр головки бедренной кости не выходя за пределы деформированной шейки бедра. Визуальный контроль в различных проекциях (perspective, top, bottom, right, left, front, back) достигается изменением «прозрачности» кости. После коррекции эпидиафизарного угла измеряется угол антеверзии [4]. Затем дистальный отдел бедренной кости ротируется внутрь для коррекции угла антеверзии, в данном случае на 10° . Виртуальными винтами пластина фиксируется к бедренной кости. С точностью до миллиметра определяется длина шеечных винтов, что исключает возможность их проникновения в сустав во время операции, а также длина диафизарных винтов (рис. 2, 3).

3. Моделируют индивидуальный шаблон. Шаблон имеет направляющую втулку с отверстиями для проведения ориентирующих спиц, направля-

ющую для выполнения остеотомии, а также направляющие для винтов, фиксирующих пластину и играющих роль ориентирующих меток для коррекции угла антеверзии. Внутренняя поверхность шаблона представляет собой точный «слепок» с наружной поверхности соответствующего участка бедренной кости. Желательно, чтобы на этом участке целиком или частично находился малый вертел, так как чем больше неровностей имеет поверхность, тем легче точно позиционировать шаблон во время операции. В основании шаблона моделируются 2–3 отверстия под спицы Киршнера для его временной фиксации на кости (рис. 4).

4. На 3D-принтере из фотополимера изготавливается шаблон.

5. В ходе хирургического вмешательства поднадкостнично выделяется межвертельная область (рис. 5). Шаблон устанавливается на кость. Ввиду того что внутренняя поверхность шаблона является зеркальной копией бедренной кости, с его позиционированием проблем не возникает. Шаблон фиксируется к кости двумя-тремя спицами Киршнера (рис. 6). Через отверстия в направляющей втулке проводятся три ориентирующие спицы. По направляющей просверливается отверстие для винта. По направляющей при помощи осцилляторной пилы производится остеотомия бедренной кости. Спицы Киршнера и шаблон удаляются из раны. При помощи ориентирующих спиц к проксимальному отделу бедра винтами фиксируется металлоконструкция.

Для коррекции смещения эпифиза кзади проксимальный отдел бедра с фиксированной к нему пластиной ротируется кпереди. Для коррекции угла антеверзии дистальный отдел бедра ротируется внутрь вокруг своей оси до сопоставления отверстия для винта в диафизарной накладке пластины с аналогичным отверстием в бедренной кости. Пластина фиксируется винтами к диафизу (рис. 7).

Рана послойно ушивается. Выполняется два рентгеновских снимка — в прямой проекции и по Лауэнштейну (рис. 8, 9).

Обсуждение

Проведен анализ результатов 3D-планирования и выполнения корригирующей остеотомии бедра с использованием индивидуального шаблона у 27 пациентов в возрасте от 5 до 18 лет (32 тазобедренных сустава) с врожденной и приобретенной деформацией бедренной кости. В послеоперационном периоде всем больным выполнялась компьютерная томография для оценки и сравне-

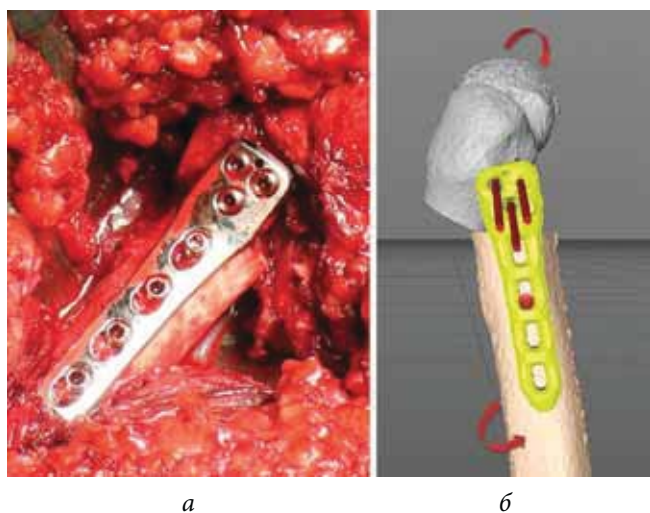


Рис. 7. Внешний вид после коррекции деформации: *а* — операционное поле; *б* — 3D-модель

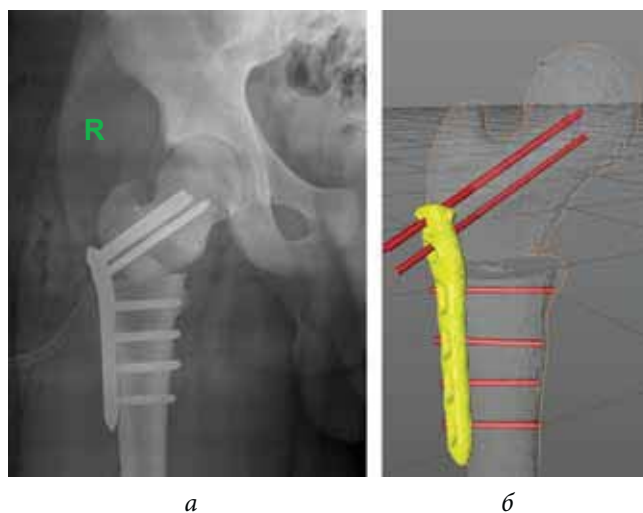


Рис. 8. Результат после оперативного лечения: *а* — Rg в прямой проекции; *б* — 3D-модель, ожидаемый результат

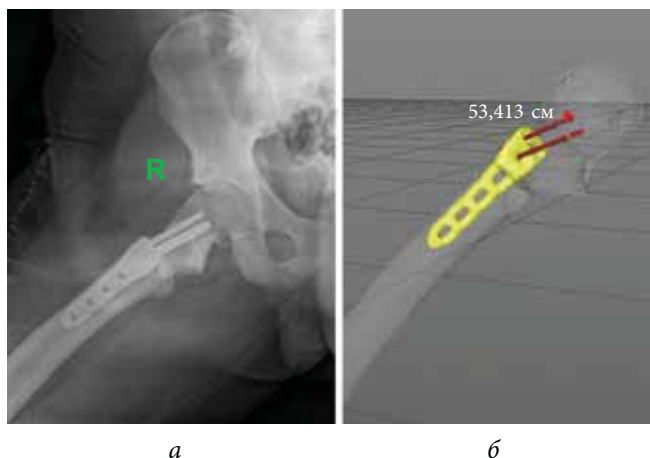


Рис. 9. Результат после оперативного лечения: *а* — Rg по Лауэнштейну; *б* — 3D-модель, ожидаемый результат

ния полученных результатов. Также создавалась трехмерная виртуальная модель, и в адаптированной нами 3D-программе сопоставлялись модель запланированной операции и модель после оперативного лечения. Для контроля на трехмерной модели после оперативного лечения вновь рассчитывались ШДУ, эпифизоафизарный угол и угол антеверзии, которые сравнивались с запланированными предоперационными расчетами. В 30 случаях (94 %) получено запланированное пространственное положение фрагментов бедренной кости и металлического фиксатора, соответствующее предварительным расчетам. В двух случаях (6 %) положение фиксатора и фрагментов бедра отличалось от запланированного. Оба случая произошли на начальных этапах исследования и были связаны с технической недоработкой шаблона, которая не позволила произвести его корректное позиционирование на кости во время операции. Отклонения были в пределах 6° и не повлияли на клинический результат. Проведенное

в дальнейшем усовершенствование шаблона позволило избежать подобных ошибок.

Для проведения сравнительного анализа оценены результаты 32 случаев планирования и выполнения корригирующей остеотомии бедренной кости с использованием стандартной рентгенометрии. Пространственное положение проксимального фрагмента бедренной кости и расположение металлического фиксатора на послеоперационных рентгенограммах соответствовало предварительным расчетам в 25 случаях (78 %).

Осуществлен сравнительный анализ результатов планирования и выполнения корригирующей остеотомии с использованием 3D-технологий и стандартной рентгенометрии. Выявлено, что средняя разница в измерении угловых показателей составила $10^\circ \pm 2^\circ$ ($p < 0,05$), в линейных показателях — $5 \text{ мм} \pm 2 \text{ мм}$ ($p < 0,05$).

Сравнивалось время выполнения однотипных вмешательств. Использование индивидуального шаблона в ходе корригирующей остеотомии бедра сократило время операции в среднем на 11 минут, и при применении шаблона уменьшилось количество интраоперационных рентгенограмм.

Заключение

Использование компьютерного 3D-моделирования при планировании и выполнении корригирующих вмешательств на бедренной кости улучшает результаты лечения за счет:

- точного позиционирования фрагментов остеотомии;
- минимизации возможных субъективных ошибок;
- сокращения времени операции;
- уменьшения лучевой нагрузки на пациента.

Информация о финансировании и конфликте интересов

Работа проведена при поддержке ФГБУ «Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И. Турнера» Минздрава России.

Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов, связанных с публикацией настоящей статьи. Исследование выполнено в рамках НИР, утвержденной ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России.

Список литературы

1. Docquier PL, Paul L, TranDuy V. Surgical navigation in paediatric orthopaedics. *EFORT Open Rev.* 2016;1:152-159. doi: 10.1302/2058-5241.1.000009.
2. Yushkevich PA, Piven J, Hazlett HC, et al. User-guided 3D active contour segmentation of anatomical structures: significantly improved efficiency and reliability. *Neuroimage.* 2006;31(3):1116-1117. doi: 10.1016/j.neuroimage.2006.01.015.
3. Inaba Y, Kobayashi N, Ike H, et al. The current status and future prospects of computer-assisted hip surgery. *Journal of Orthopaedic Science.* 2016;21(2):107-115. doi: 10.1016/j.jos.2015.10.023.
4. Баиндурашвили А.Г., Басков В.Е., Филиппова А.В., и др. Планирование корригирующей остеотомии бедренной кости с использованием 3D-моделирования. Часть I // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2016. – Т. 4. – Вып. 3. – С. 52–58. [Baindurashvili AG, Baskov VE, Filippova AV, et al. Planning for corrective osteotomy of the femoral bone using 3D-modeling. Part I. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery.* 2016;4(3):52-58. (In Russ.). doi: 10.17816/PTORS4352-58.
5. Краснов А.И., Барсуков Д.Б., Басков В.Е., Поздник И.Ю. Юношеский эпифизеолит головки бедренной кости (диагностика, лечение): Учебное пособие. – СПб., 2015. – С. 4–32. [Krasnov AI, Barsukov DB, Baskov VE, Pozdnikin IYu. Yunosheskii epifizeoliz golovki bedrennoi kosti (diagnostika, lechenie): Uchebnoe posobie. Saint Petersburg; 2015. P. 4-32. (In Russ.)]
6. Соколовский А.М., Соколовский О.А., Гольдман Р.К., Деменцов А.Б. Планирование операций на проксимальном отделе бедренной кости // Медицинские новости. – 2005. – № 10. – С. 26–29. Доступно по: <http://www.mednovosti.by/journal.aspx?article=1043>. Ссылка активна на 06.07.16 [Sokolovskii AM, Sokolovskii OA, Gol'dman RK, Dementsov AB. Planirovanie operatsii na proksimal'nom otdele bedrennoi kosti. *Zhurnal meditsinskie novosti.* 2005(10):26-29. Dostupno po: <http://www.mednovosti.by/journal.aspx?article=1043>. Ssylka aktivna na 06.07.16. (In Russ.)]
7. Поздник И.Ю., Барсуков Д.Б. Способ корригирующей остеотомии бедра при юношеском эпифизеолите головки бедренной кости. Патент РФ на изобретение № 2604039/10.12.2016. Бюл. № 34. [Pozdnikin IYu, Barsukov DB. Sposob korriruyushchei osteotomii bedra pri yunosheskom epifizeolize golovki bedrennoi kosti. Patent RUS No 2604039/10.12.2016. Byul. No 34. (In Russ.)]

Сведения об авторах

Владимир Евгеньевич Басков — канд. мед. наук, руководитель отделения патологии тазобедренного сустава ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России. E-mail: dr.baskov@mail.ru.

Алексей Георгиевич Баиндурашвили — д-р мед. наук, профессор, академик РАН, заслуженный врач РФ, директор ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России. E-mail: turner01@mail.ru.

Анастасия Викторовна Филиппова — научный сотрудник научно-организационного отдела ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России. E-mail: mmers@list.ru.

Дмитрий Борисович Барсуков — канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения патологии тазобедренного сустава ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России. E-mail: dbbarsukov@gmail.com.

Андрей Иванович Краснов — канд. мед. наук, заслуженный врач РФ, врач травматолог-ортопед ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России.

Иван Юрьевич Поздник — канд. мед. наук, научный сотрудник отделения патологии тазобедренного сустава ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России.

Павел Игоревич Бортулев — научный сотрудник отделения патологии тазобедренного сустава ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России. E-mail: pavel.bortulev@yandex.ru.

Vladimir E. Baskov — MD, PhD, head of the department of hip pathology. The Turner Scientific and Research Institute for Children's Orthopedics. E-mail: pozdnikin@gmail.com.

Alexei G. Baindurashvili — MD, PhD, professor, member of RAS, honored doctor of the Russian Federation, Director of The Turner Scientific and Research Institute for Children's Orthopedics. E-mail: turner01@mail.ru.

Anastasia V. Filippova — MD, research associate of the scientific-organizational department. The Turner Scientific and Research Institute for Children's Orthopedics. E-mail: mmers@list.ru.

Dmitry B. Barsukov — MD, PhD, senior research associate of the department of hip pathology. The Turner Scientific and Research Institute for Children's Orthopedics. E-mail: dbbarsukov@gmail.com.

Andrey I. Krasnov — MD, PhD, honored doctor of the Russian Federation, orthopedic and trauma surgeon. The Turner Scientific and Research Institute for Children's Orthopedics.

Ivan Y. Pozdnikin — MD, PhD, research associate of the department of hip pathology. The Turner Scientific and Research Institute for Children's Orthopedics. E-mail: pozdnikin@gmail.com.

Pavel I. Bortulev — MD, research associate of the department of hip pathology. The Turner Scientific and Research Institute for Children's Orthopedics. E-mail: pavel.bortulev@yandex.ru.