

УДК 616.718.41-018.3-002-089

**Р.Ф. ХАСАНОВ<sup>1</sup>, А.П. АНДРЕЕВ<sup>1</sup>, А.П. СКВОРЦОВ<sup>1</sup>, О.А. САЧЕНКОВ<sup>2</sup>, И.В. ЯШИНА<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Республиканская клиническая больница МЗ РТ, 420064, г. Казань, Оренбургский тракт, д. 138<sup>2</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18

## Биомеханическое обоснование хирургического лечения болезни Легг — Кальве — Пертеса

**Хасанов Руслан Фаридович** — врач травматолого-ортопедического (детского) отделения, тел. (843) 296-31-40, e-mail: rkb\_nauka@rambler.ru**Андреев Петр Степанович** — кандидат медицинских наук, заведующий травматолого-ортопедическим (детским) отделением, тел. (843) 296-31-40, e-mail: rkb\_nauka@rambler.ru**Скворцов Алексей Петрович** — доктор медицинских наук, главный научный сотрудник научно-исследовательского отдела, тел. (843) 296-31-40, e-mail: rkb\_nauka@rambler.ru**Саченков Оскар Александрович** — кандидат физико-математических наук, ассистент кафедры теоретической механики, тел. (843) 233-71-85, e-mail: 4works@bk.ru**Яшина Ирина Владимировна** — врач травматолого-ортопедического (детского) отделения, тел. (843) 296-31-40, e-mail: rkb\_nauka@rambler.ru

*В статье авторы представляют биомеханическое обоснование хирургического лечения болезни Легг — Кальве — Пертеса при помощи компьютерного моделирования тазобедренного сустава на основе концепции трехплоскостной коррекции пространственной патологической ориентации проксимального отдела бедренной кости с учетом локализации дегенеративно-дистрофического процесса и тяжести поражения у детей и подростков на примере болезни Легга — Кальве — Пертеса.*

**Ключевые слова:** болезнь Легг — Кальве — Пертеса, ротационно-флексионная остеотомия, компьютерное моделирование тазобедренного сустава.

**R.F. KHASANOV<sup>1</sup>, A.P. ANDREEV<sup>1</sup>, A.P. SKVORTSOV<sup>1</sup>, O.A. SACHENKOV<sup>2</sup>, I.V. YASHINA<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Republican Clinical Hospital of the MH of RT, 138 Orenburgskiy Trakt, Kazan, Russian Federation, 420064<sup>2</sup>Kazan (Volga region) Federal University, 18 Kremlevskaya St., Kazan, Russian Federation, 420008

## Biomechanical study of surgical treatment of Legg — Calve — Perthes disease

**Khasanov R.F.** — doctor of the Traumatology-Orthopedics (children's) Department, tel. (843) 296-31-40, e-mail: rkb\_nauka@rambler.ru**Andreev P.S.** — Cand. Med. Sc., Head of the Traumatology-Orthopedics (children's) Department, tel. (843) 296-31-40, e-mail: rkb\_nauka@rambler.ru**Skvortsov A.P.** — D. Med. Sc., Chief Researcher of Scientific-Research Department, tel. (843) 296-31-40, e-mail: rkb\_nauka@rambler.ru**Sachenkov O.A.** — Cand. Phys. and Math. Sc., Assistant of the Department of Theoretical Mechanics, tel. (843) 233-71-85, e-mail: 4works@bk.ru**Yashina I.V.** — doctor of the Traumatology-Orthopedics (children's) Department, tel. (843) 296-31-40, e-mail: rkb\_nauka@rambler.ru

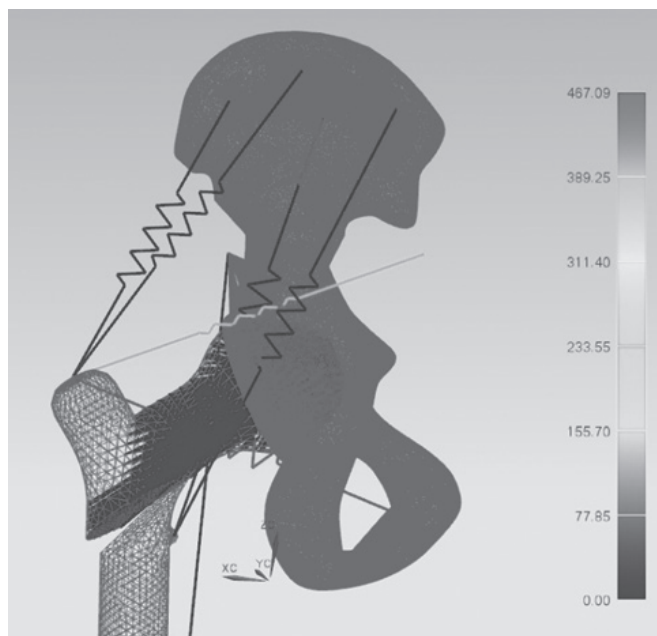
*In this study, the authors present biomechanical surgery Legg — Calve — Perthes disease, with the help of computer simulations of the hip joint on the concept of three-plane spatial correction of pathological orientation of the proximal femur with the localization of degenerative-dystrophic process and severity in children and adolescents as an example Legg — Calve — Perthes disease.*

**Key words:** Legg — Calve — Perthes disease, rotary flexion osteotomy, computer simulation of the hip joint.

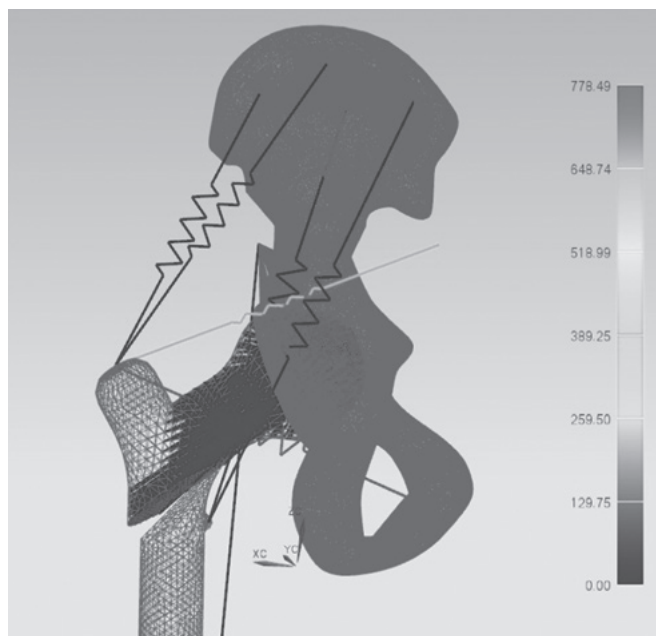
Среди всех заболеваний тазобедренного сустава в детском возрасте болезнь Легг — Кальве — Пертеса (БЛКП), по данным различных авторов, составляет 25-30% [1]. Чаще всего поражается один сустав, однако в 10-20% случаев встречается двусторонняя форма [2, 3]. Прогноз при лечении болезни Пертеса при тяжелом поражении эпифиза до 89,5% случаев заканчивается остаточной деформацией и дисконгруэнтностью головки бе-

дренной кости и вертлужной впадины и развитием коксартроза [4-6]. Хирургический метод лечения остеохондропатии головки бедра у детей имеет решающее значение. В основе реконструктивных методов оперативного лечения лежит выведение очага деструкции головки бедра из-под нагрузки (деторсионно-варизирующие и ротационно-флексионные остеотомии). Однако разработанные методы лечения предусматривают поворот головки

**Рисунок 1. Ротация проксимального отдела бедра на 15 градусов**



**Рисунок 2. Ротация проксимального отдела бедра на 30 градусов**



бедра кпереди или кзади на  $90^\circ$ , что зачастую приводит к скручиванию капсулы сустава и ишемии головки бедренной кости.

**Цель исследования** — определение направления и величины максимально возможного угла поворота эпифиза головки бедра при наличии очага деструкции, предусматривающий предупреждение развития асептических послеоперационных осложнений, с помощью компьютерного моделирования тазобедренного сустава с учетом степени локализации дегенеративно-дистрофического очага и тяжести поражения у детей и подростков, на примере болезни Легга — Кальве — Пертеса.

**Материал и методы исследования**

Совместно с кафедрой теоретической механики Института математики и механики Казанского федерального университета было проведено математическое моделирование процесса ротации проксимального отдела бедренной кости с учетом локализации очага деструкции эпифиза головки бедра и выведение его из под зоны нагрузки.

В рамках исследования была построена трехмерная параметрическая модель тазобедренного сустава [18, 19]. Расчет проводился на основе метода конечных элементов, при котором весь объем геометрии дискретизируется на упругие тетраэдры. Механические характеристики костной ткани брались согласно известным исследованиям равными, так Модуль Юнга ( $E$ ) = 6 ГПа, коэффициент Пуассона ( $\nu$ ) = 0.3 [11].

При моделировании учитывалось влияние следующих мышц: *m. piriformis*, *rectus femoris*, *iliopsoas*, *obturator internus*, *gluteus minimus*, *medius et maximus*. Для моделирования механического поведения мышц была использована модель Хилла [5], представляющая собой последовательно соединенные упругого и вязкого элементов, соединенные параллельно с ещё одним упругим элементом.

Расчеты проводились для мгновенного поворота на 10 , 15 , 20 , 25 и 30 град. вперед и назад.

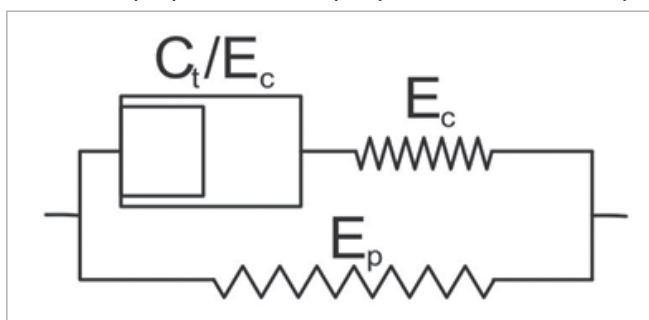
На рисунке 1 и 2 приведены результаты растягивающих усилий (в Ньютонах), возникающие в мышцах при ротации вперед на 15 и 30 град. соответственно. Аналогичные усилия при ротации назад выше в 2,8-3,2 раза.

Так при одномоментном смещении на 15 град. максимальные усилия достигли 467 Н, в *m. piriformis* — 233 Н; при мгновенном смещении на 30 град. — в *m. obturator internus* — 778 Н, в *m. piriformis* — 389 Н.

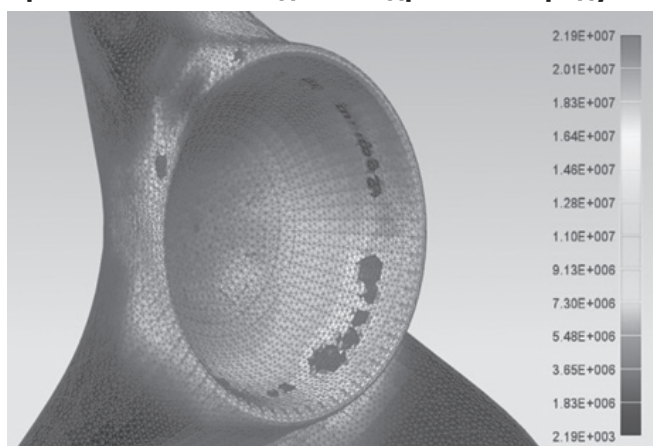
Исследование проводилось на основе построенной кинематической модели тазобедренного сустава. Была построена детальная модель, позволяющая учитывать упругие свойства мышц, изменения их со временем, сопротивление, возникающее в организме при остеотомии, деформацию костной ткани.

При моделировании остеотомии считалось, что проксимальный отдел соединен с бедренной костью неподвижной вращательной парой [13, 14]. Моделирование проводилось для различных анатомических параметров: шеечно-диафизарный угол (ШДУ), угол антеторсии (АТ). Поворот производился в трех плоскостях относительно оси вращения, при этом определялись удлинения мышечных групп при изменении величины ШДУ, АТ и ротационного поворота проксимального отдела бедра.

При расчетах проводился также анализ, возникающих при ротации в вертлужной впадине напря-



**Рисунок 3. Напряжение в Паскалях, возникающее в вертлужной впадине при ротации проксимального отдела бедра на 30 градусов**



**Рисунок 5. Рентгенологическая картина при обращении в отделение**



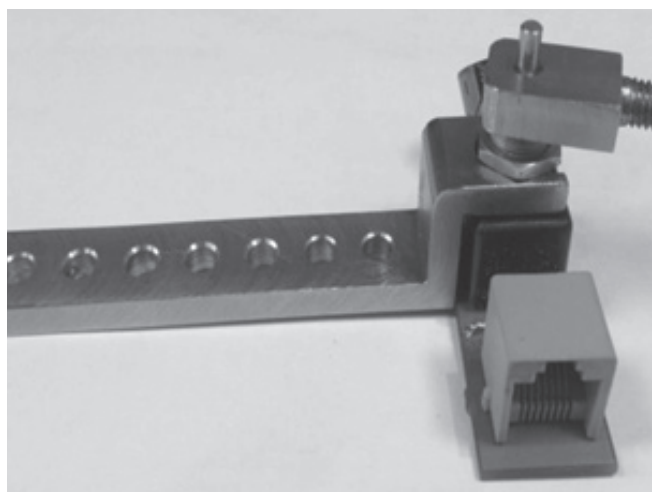
жений, с учетом возникающих усилий [6, 7, 9, 10]. На рисунке 3 приведена картина распределения напряжений (в Паскалях) при ротации на 30°. Стоит отметить, что опасные участки (где напряжения достигают максимальных значений — порядка 22 МПа) располагаются по внутренней окружности вертлужной впадины и в верхнем полюсе [17]. В этих участках может развиваться нарушение структуры костной ткани [8, 12, 15, 16]. Оценка напряженно-деформированного состояния вертлужной впадины показала, что характер распределения напряжений схож, в зависимости от величины остеотомии локализуются зоны максимальных напряжений.

Для контроля истинного угла поворота при ротационной флексионной остеотомии был спроектирован и изготовлен датчик контроля угла поворота (рис. 4), который монтируется на аппарат внешней фиксации, что позволяет не только контролировать угол, на который происходит ротация, но и контролировать дозированную коррекцию угла поворота во время лечения в послеоперационном периоде.

Таким образом, при одномоментной (мгновенной) ротации проксимального отдела бедра превышающей 30°, возникают максимальные напряжения в элементах эпифиза головки бедра-вертлужная впадина с развитием нарушения структуры костной ткани.

На основании результатов биомеханического компьютерного моделирования, нами разработан способ оперативного лечения болезни Легг —

**Рисунок 4. Датчик контроля угла поворота**



**Рисунок 6. Ротационно-флексионная остеотомия проксимального отдела бедра, с фиксацией в аппарате внешней фиксации**



Кальве — Пертеса, заключающийся в выполнении ротационно-флексионной остеотомии проксимального отдела бедра с разворотом головки вперед или назад, с выведением очага деструкции из под нагрузки, а так же позволяющий формировать биомеханические взаимоотношения с пораженным суставом, максимально приближенные к здоровому суставу или возрастным нормам при двустороннем поражении (патент на изобретение № 2440050 «Способ лечения болезни Пертеса»).

#### **Клинический пример**

Пациент А. обратился в детское отделение НИЦТ «ВТО» г. Казани в 7 летнем возрасте. Ему было предложено оперативное лечение. Однако, несмотря на рекомендации врачей, родители отказались от оперативного вмешательства и данный пациент пропал из поля зрения на 4 года. При повторном обращении, рентгенологически отмечался значительный дефект верхнего полюса эпифиза головки бедренной кости (рис. 5).

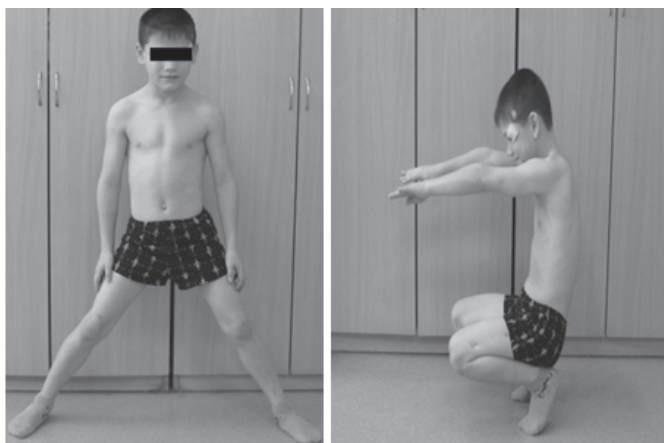
Пациенту произведена ротационно-флексионная остеотомия проксимального отдела бедра, с постепенным выведением скомпromетированного участка из-под нагрузки, по разработанному нами методу (рис. 6). Результат лечения данного пациента через 1 год представлен на рисунке 7 и оценен, как хороший.

#### **Выводы**

1. Целью оперативного лечения больных с наличием очага деструкции эпифиза головки бедра



**Рисунок 7. Результат лечения через 1 год с момента операции**



является выведение данного дефекта из под зоны нагрузки.

2. При одномоментной (мгновенной) ротации проксимального отдела бедра, превышающей  $30^\circ$ , возникают максимальные напряжения в элементах эпифиз головки бедра-вертлужная впадина с развитием нарушения структуры костной ткани.

3. Биомеханические результаты исследований при выведении очага деструкции эпифиза головки бедра из под зоны нагрузки вертлужной впадины показали, что растягивающие усилия, возникающие в мышцах при ротации кпереди на 15 и 30 меньше, чем создаваемые аналогичные усилия при ротации головки бедра кзади в 2,8-3,2 раза. Поэтому поворот эпифиза головки бедра кпереди предпочтительнее, чем кзади.

4. Анализ расчетов показал, что при повороте кпереди поведение мышц стабильней при изменении анатомических параметров, в то время как при повороте происходит относительное укорочение задней группы мышц проксимального отдела бедра.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-01-31291.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Абальмасова Е.А., Балаба Т.Я., Лаврищева Г.И. К этиологии и патогенезу юношеского эпифизолиза // Актуальные вопросы травматологии и ортопедии. — М., 1981. — Вып. 23. — С. 87-91.
2. Weiner S.D., Weiner D.S., Riley P.M. Pitfalls in treatment of Legg — Calvé — Perthes disease using proximal femoral varus osteotomy // J. Pediatr. Orthop. — 1991. — 11. — P. 20-24.
3. Студеникина М.Я., Яковлева А.А. Руководство по детской артрологии. — Л.: Медицина, 1987. — 334 с.
4. Белецкий А.В. Оперативное лечение аваскулярного некроза головки // Актуальные вопросы лечения заболеваний и повреждений опорно-двигательного аппарата у детей: Материалы Всероссийской научно-практической конференции детских ортопедов-травматологов в г. Владимире. — СПб, 1994. — С. 175.
5. Тарасов В.И. Роль центрирующих остеотомий бедренной кости в лечении остеохондропатии тазобедренного сустава у детей // Актуальные вопросы лечения заболеваний и повреждений опорно-двигательного аппарата у детей: Материалы Всероссийской научно-практической конференции детских ортопедов-травматологов в г. Владимире. — СПб, 1994. — С. 178-179.
6. Bennett J.T., Marurek R.T., Cash J.D. Chiari's osteotomy in the treatment of Perthes Disease // J. Bone Jt. Surg. — 1991. — Vol. 73-B, № 2. — P. 225-228.
7. Коноплев Ю.Г., Митряйкин В.И., Саченков О.А. Применение математического моделирования при планировании операции по эндопротезированию тазобедренного сустава // Ученые записки казанского университета. Серия: физико-математические науки: К(П)ФУ Казань. — 2011. — Т. 153, № 4. — С. 76-83.

8. Закиров Р.Х., Коноплев Ю.Г., Митряйкин В.И., Саченков О.А. Математическое моделирование биомеханики сустава // Научно-технический вестник Поволжья. — 2012. — № 1. — С. 31-37.

9. Акулич Ю.В., Акулич А.Ю., Денисов А.С. Предоперационное определение индивидуальных физических характеристик губчатой костной ткани проксимального отдела бедра человека // Российский журнал биомеханики. — 2011. — Т. 15, № 1. — С. 33-41.

10. Галямова Е.В., Гуськов А.М., Сюзов В.В. Механико-математическая модель поперечнополосатой мышцы // Наука и образование Эл. № ФС 77 - 48211 от 9 сентября 2010 г.

11. Шевцов В.И., Долганова Т.И., Карасева Т.Ю., Карасев Е.А. Показатели опорной реакции стоп у больных с гонартрозом после корригирующей остеотомии в сочетании с артроскопией // Российский журнал биомеханики. — 2009. — Т. 13, № 3. — С. 83-88.

12. Измайлова З.Т. Предоперационная диагностика модульной трансформации при чрезкостном остеосинтезе бедренной кости // Российский журнал биомеханики. — 2009. — Т. 13, № 2. — С. 93-98.

13. Климов О.В. Расчет и контроль биомеханической оси нижней конечности во фронтальной плоскости при ее коррекции по Илизарову // Российский журнал биомеханики. — 2014. — Т. 18, № 2. — С. 239-247.

14. Менщикова Т.И., Долганова Т.И., Аранович А.М. Влияние силы мышц бедра и голени на опорные реакции стоп у больных ахондроплазией после коррекции роста // Российский журнал биомеханики. — 2014. — Т. 18, № 2. — С. 247-258.

15. Витензон А.С., Петрушанская К.А., Спивак Б.Г., Матвеева И.А., Гриценко Г.П., Сутченков И.А. Особенности биомеханической структуры ходьбы у здоровых детей разного возраста // Российский журнал биомеханики. — 2013. — Т. 17, № 1. — С. 78-93.

16. Щуров В.А., Новиков К.И., Мурадисинов С.О. Влияние разницы высоты нижних конечностей на биомеханические параметры ходьбы // Российский журнал биомеханики. — 2011. — Т. 15, № 4. — С. 102-107.

17. Беджинский Р., Подрез-Радзишевска М., Тиндик М., Кржеминский М. Анализ напряженно-деформированного состояния в проксимальном эпифизе бедренной кости при болезни Легга — Кальве — Пертеса // Российский журнал биомеханики. — 2002. — Т. 6, № 3. — С. 66-76.

18. Акулич Ю.В., Акулич А.Ю., Денисов А.С., Мерзляков М.В., Шулятьев А.Ф. Влияние геометрических, биомеханических и хирургических факторов на величины индивидуальных моментов закручивания фиксаторов при контролируемом остеосинтезе перелома шейки бедра // Российский журнал биомеханики. — 2013. — Т. 17, № 2. — С. 64-74.

19. Акулич Ю.В., Акулич А.Ю., Денисов А.С. Индивидуальный остеосинтез шейки бедра резьбовыми фиксаторами // Российский журнал биомеханики. — 2010. — Т. 14, № 1. — С. 7-16.

20. Акулич Ю.В., Акулич А.Ю., Денисов А.С., Подгаец Р.М. Адаптационные процессы в кости после остеосинтеза шейки бедра упругими резьбовыми фиксаторами // Российский журнал биомеханики. — 2007. — Т. 11, № 3. — С. 39-53.

21. Рубленик И.М., Билык С.В., Шайко-Шайковский О.Г. Применение металлополимерных фиксирующих систем для интрамедуллярного остеосинтеза // Российский журнал биомеханики. — 2003. — Т. 7, № 1. — С. 84-89.