

## Применение индивидуальных шаблонов при тройной остеотомии таза у детей с диспластическим подвывихом бедра (предварительные результаты)

П.И. Бортулёв<sup>1</sup>, С.В. Виссарионов<sup>1,2</sup>, В.Е. Басков<sup>1</sup>, Д.Б. Барсуков<sup>1</sup>,  
И.Ю. Поздникин<sup>1</sup>, М.С. Познович<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

### Реферат

**Цель исследования** — оценить степень коррекции пространственного положения вертлужной впадины после тройной остеотомии таза с применением индивидуальных шаблонов у детей с диспластическим подвывихом бедра. **Материал и методы.** В исследование вошли 30 пациентов (30 тазобедренных суставов) с диспластическим подвывихом бедра в возрасте от 14 до 18 лет (средний возраст 16,3±1,4). Все дети были разделены на две группы — основную группу составили 15 детей (15 тазобедренных суставов), которым тройная остеотомия таза была выполнена с использованием персонифицированных шаблонов, изготовленных с применением технологий 3D-моделирования и прототипирования; контрольную группу составили 15 детей (15 тазобедренных суставов), которым тройная остеотомия таза осуществлена на основании проведения стандартного предоперационного планирования. Всем пациентам проведено лучевое обследование, включающее рентгенографию тазобедренных суставов и компьютерную томографию. **Результаты.** У пациентов основной группы значения как величин, характеризующих пространственное положение вертлужной впадины, так и интегральных показателей, относящихся к определению соотношений между тазовым и бедренным компонентом сустава и характеризующих стабильность тазобедренного сустава, находились в диапазоне нормальной вариации. Аналогичные средние показатели у пациентов контрольной группы выходили за предел нижней границы физиологической нормы ( $p < 0,05$ ). Помимо этого, значения стандартного отклонения по вышеуказанным рентгенологическим показателям у ряда пациентов контрольной группы имели выраженную вариабельность, что характеризовалось значениями как гипер-, так и гипокоррекции пространственного положения ацетабулярного фрагмента. **Заключение.** Применение индивидуальных шаблонов в ходе выполнения реориентирующей тройной остеотомии таза при лечении детей с диспластическим подвывихом бедра, в отличие от общепринятой методики планирования, позволяет нивелировать возможные погрешности пространственного положения вертлужной впадины как в сторону гипер-, так и гипокоррекции ( $p < 0,05$ ) тазового компонента. Это создает условия для обеспечения адекватной стабильности тазобедренного сустава, что подтверждается значениями основных рентгенологических индексов, укладывающихся в диапазон их нормальных значений.

**Ключевые слова:** диспластический подвывих бедра, дети, тройная остеотомия таза, 3D-моделирование и прототипирование, индивидуальные шаблоны, гиперкоррекция.

Бортулёв П.И., Виссарионов С.В., Басков В.Е., Барсуков Д.Б., Поздникин И.Ю., Познович М.С. Применение индивидуальных шаблонов при тройной остеотомии таза у детей с диспластическим подвывихом бедра (предварительные результаты). *Травматология и ортопедия России*. 2019;25(3):47-56. doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-3-47-56.

**Cite as:** Bortulev P.I., Vissarionov S.V., Baskov V.E., Barsukov D.B., Pozdnikin I.Yu., Poznovih M.S. [Patient-Specific Templates for Triple Pelvic Osteotomy in Children with Dysplastic Hip Subluxation (Preliminary Results)]. *Травматология и ортопедия России* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2019;25(3):47-56. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-3-47-56.

✉ Бортулёв Павел Игоревич / Pavel I. Bortulev; e-mail: pavel.bortulev@yandex.ru

Рукопись поступила/Received: 07.05.2019. Принята в печать/Accepted for publication: 01.08.2019.

## Patient-Specific Templates for Triple Pelvic Osteotomy in Children with Dysplastic Hip Subluxation (Preliminary Results)

P.I. Bortulev<sup>1</sup>, S.V. Vissarionov<sup>1,2</sup>, V.E. Baskov<sup>1</sup>, D.B. Barsukov<sup>1</sup>, I.Yu. Pozdnyukov<sup>1</sup>, M.S. Poznovih<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, St. Petersburg, Russian Federation

<sup>2</sup> Mechnikov North-Western State Medical University, St. Petersburg, Russian Federation

### Abstract

**Purpose of the study** — to evaluate the degree of correction of acetabular spatial position after triple pelvic osteotomy using patient-specific templates in children with dysplastic hip subluxation. **Materials and methods.** Study included 30 patients (30 hips) with dysplastic hip subluxation aging from 14 to 18 years (mean age of 16.3±1.4). All children were divided into two groups — main group consisted of 15 children (15 hips) who underwent triple pelvic osteotomy using patient-specific templates produced by 3D modeling and prototyping technology; control group consisted of 15 children (15 hips) who underwent triple pelvic osteotomy based on standard preoperative planning. X-ray and CT of hip joints was made in all patients. **Results.** Parameters of acetabular spatial position as well as integral parameters which define the ratio between acetabulum and femoral components and hip stability were in the range of normal variation in patients of the main group. Similar average parameters in patients of control group were below the lower margin of the physiological norm ( $p<0.05$ ). Besides, the values of standard deviation of abovementioned X-ray parameters in some patients of control group demonstrated pronounced variability characterized by hyper- and hypo-correction values of spatial position of acetabular fragment. **Conclusion.** In contrast to standard preoperative planning the use of patient-specific templates during re-orienting triple pelvic osteotomy in children with dysplastic hip subluxation allows to level out possible errors in three-dimensional acetabulum positioning towards hyper- and hypo-correction ( $p<0.05$ ) of pelvic component. This creates conditions to ensure adequate hip stability which is confirmed by key X-ray indices with values within normal reference range.

**Keywords:** dysplastic hip subluxation, children, triple pelvic osteotomy, 3D modeling and prototyping, patient-specific templates.

### Введение

Дисплазия тазобедренных суставов остается одним из наиболее встречающихся заболеваний костно-мышечной системы у детей. Согласно данным, представленным различными авторами, частота этой патологии в разных странах варьирует от 2 до 50 и более случаев на 1000 новорожденных [1–5]. Несмотря на постоянно совершенствующиеся методы диагностики ортопедических заболеваний, процент несвоевременного выявления дисплазии тазобедренных суставов остается довольно высоким [6]. В связи с врожденным недоразвитием передне-верхнего края вертлужной впадины возникает дефицит покрытия головки бедренной кости, что в свою очередь приводит к локальной перегрузке гиалинового хряща с последующим развитием ранних дегенеративных процессов [7–9]. В период интенсивного роста, как правило, манифестируются клинические признаки нестабильности тазобедренного сустава, выражающиеся болевым синдромом и хромотой. Симптоматика не имеет обратного развития, а наоборот — неуклонно прогрессирует в процессе роста и развития ребенка.

Тройная остеотомия таза, целью которой является восстановление стабильности сустава за счет увеличения покрытия головки бедренной кости аутологичным хрящом вертлужной впадины, широко применяется в комплексном лечении детей старше 12 лет с диспластическим подвывихом бедра [10–13]. После завершения роста костей таза и «закрытия» Y-образного хряща альтернативным вариантом тройной остеотомии таза является периацетабулярная остеотомия таза. Разные по технике исполнения, но идентичные по возможностям коррекции пространственного положения ацетабулярного фрагмента, эти хирургические технологии доказали свой высокий корригирующий потенциал и долгосрочный положительный эффект, о чем свидетельствуют многочисленные публикации отечественных и зарубежных авторов [14–16]. Общеизвестно, что клиничко-функциональный результат хирургического лечения напрямую зависит от правильности выбора зоны остеотомии, направления и степени многоплоскостной коррекции ацетабулярного фрагмента. Так, например, недостаточная коррекция вертлужной впадины в ходе ее реориентирова-

ющей остеотомии не обеспечивает надлежащей стабильности, а гиперкоррекция, наоборот, может привести к ограничению амплитуды движений в тазобедренном суставе, развитию фемороацетабулярного импинджмента, что приведет к снижению качества жизни пациента. Кроме того, от степени коррекции положения вертлужной впадины напрямую зависит такое осложнение, как формирование ложных суставов на уровне остеотомий костей таза [17–19].

На сегодняшний день в мировой и отечественной ортопедической практике широкое распространение приобретают технологии 3D-моделирования и прототипирования. Области их применения достаточно разнообразны: от максимально точного расчета оптимальной зоны резекции остеосаркомы для выполнения ее радикального удаления, до шаблонов-направителей с целью корректного проведения транспедикулярных винтов в тела позвонков в ходе коррекции приобретенных и врожденных деформаций позвоночного столба [20–22]. Большинство имеющихся на сегодняшний день публикаций, касающихся применения шаблонов для выполнения реконструктивных операций на тазобедренном суставе, затрагивают вопросы эффективности их использования при выполнении различного рода корригирующих остеотомий проксимального отдела бедренной кости. Практически все авторы заявляют о целесообразности использования персонафицированных шаблонов для осуществления подобного рода хирургических вмешательств [23, 24].

Анализ полученных данных свидетельствует о значительном повышении точности выполнения хирургических вмешательств с помощью различных индивидуальных шаблонов. Одновременно с этим необходимо сказать, что публикаций, касающихся эффективности их применения в ходе реориентирующей тройной остеотомии таза у детей, в доступной нам литературе не обнаружено, что подчеркивает актуальность проведения исследований в этом направлении.

**Цель исследования** — оценить степень коррекции пространственного положения вертлужной впадины после тройной остеотомии таза с применением индивидуальных шаблонов у детей с диспластическим подвывихом бедра.

### Материал и методы

Работа основана на анализе результатов обследования и хирургического лечения 30 пациентов (30 тазобедренных суставов) с диспластическим подвывихом бедра в возрасте от 14 до 18 лет (средний возраст  $16,3 \pm 1,4$ ). Все дети обследовались и лечились в клинике патологии тазобедренного сустава в 2018 и 2019 г. Критерии включения пациентов в исследование: возраст детей от 14

до 18 лет, наличие подвывиха бедра I степени по J.F. Crowe, отсутствие необходимости выполнения корригирующей остеотомии бедра (истинный шеечно-диафизарный угол не более  $140^\circ$ , угол антеторсии проксимального отдела бедренной кости не более  $45^\circ$ ), отсутствие неврологических нарушений, а также системных и генетических заболеваний, добровольное информированное согласие пациентов и их родителей на участие в исследовании. Критерии исключения пациентов из исследования: возраст детей менее 14 лет, наличие нестабильности тазобедренного сустава, соответствующей II–IV степеней по J.F. Crowe, необходимость выполнения артротомии и/или корригирующей остеотомии бедренной кости, наличие неврологических, системных и генетических заболеваний, отсутствие добровольного согласия пациентов и их родителей на участие в исследовании. Пациенты были разделены на две группы: основную группу составили 15 детей (15 тазобедренных суставов), которым тройная остеотомия таза была выполнена с использованием персонафицированных шаблонов, изготовленных с применением технологий 3D-моделирования и прототипирования; контрольную группу составили 15 детей (15 тазобедренных суставов), которым тройная остеотомия таза осуществлена на основании проведения стандартных расчетов предстоящей коррекции по рентгенограммам и КТ тазобедренных суставов.

Всем пациентам проводили стандартное для этой патологии клиническое обследование с определением доминирующих симптомов нестабильности тазобедренного сустава диспластического генеза.

Рентгенологический и компьютерно-томографический методы позволяли провести комплексную рентгенометрию на основе следующих показателей (углы Tonnis, Sharp, Wiberg, степень костного покрытия, шеечно-диафизарный угол и угол антеторсии проксимального отдела бедренной кости). Для определения степени подвывиха нами была использована классификация J.F. Crowe (1979). Пациентам основной группы после проведения мультиспиральной компьютерной томографии в предоперационном периоде проводили 3D-моделирование с последующим компьютерным планированием предстоящего хирургического вмешательства в программе PME Planner (Polygon Medical Engineering). После виртуального выполнения тройной остеотомии таза с достижением индивидуальной коррекции пространственного положения ацетабулярного фрагмента осуществляли прототипирование двух персонафицированных шаблонов (печать FDM на 3D-принтере PICASO DESINGER PRO250). Применение первого шаблона позволяло осуществить точную остеотомию тела

подвздошной кости, а второго — положение вертлужной впадины с последующим остеосинтезом костных фрагментов в соответствии с запланированной виртуально индивидуальной коррекцией (заявка на выдачу патента РФ на изобретение № 2018146908 от 26.12.2018 г.) (рис. 1).

### Статистический анализ

Статистический анализ осуществляли с помощью программ Microsoft Excel 2019 (Microsoft, USA) и SPSS Statistic v.23 (IBM, USA). Уровень значимости различий оценивали с помощью непараметрического U-критерия Манна – Уитни. Статистически значимым считали уровень вероятности ошибки первого рода менее 5% ( $p < 0,05$ ).

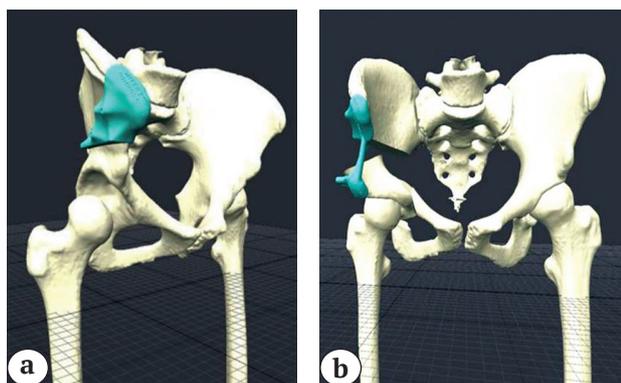
### Результаты

Клиническая картина у детей обеих групп исследования полностью соответствовала диспластическому подвывиху бедра: отмечалась хромота на пораженную конечность у 100% пациентов,

средняя величина укорочения нижней конечностей составила  $1,3 \pm 0,4$  см, избыточные ротационные движения, положительный FADIR-test выявлен у 13 (87%) пациентов основной группы и у 12 (80%) пациентов контрольной.

Данные, полученные в ходе лучевых методов исследования, представлены в таблице 1.

Показатели, представленные в таблице 1, полностью подтверждают диспластический характер патологии тазобедренного сустава, для которой характерно увеличение показателей угла Tonnis, Sharp, шеечно-диафизарного угла и угла антегортсии проксимального отдела бедра [25, 26]. Показатель краниального смещения головки бедренной кости не превышал 2 см, что соответствовало I степени подвывиха по классификации J.F. Crowe. Проведенный межгрупповой анализ показал отсутствие статистически значимых различий по изучаемым показателям ( $p > 0,05$ ), что дало возможность провести дальнейшее исследование.



**Рис. 1.** Виртуальное планирование операции и создание персонализированных шаблонов пациенту, 15 лет, в программе PME Planner (Polygon Medical Engineering):

a — шаблон для выполнения остеотомии подвздошной кости в наацетабулярной области;  
b — шаблон для осуществления многоплоскостной коррекции вертлужной впадины

**Fig. 1.** Virtual planning of the surgery and creation of patient-specific templates for patient, 15 y.o., PME Planner software (Polygon Medical Engineering):  
a — template for ilium osteotomy in the supraacetabular area;  
b — template for multiplane correction of the acetabulum

Таблица 1

### Значения рентгенометрических величин, характеризующих пространственное положение вертлужной впадины и проксимального отдела бедра у пациентов до хирургического лечения

Показатель	Пациенты основной группы M±SD (min-max)	Пациенты контрольной группы M±SD (min-max)
Угол Sharp, град.	52,4±3 (48–58)	53,5±3,6 (49–60)
Угол Tonnis, град.	21,5±3,6 (15–27)	22,5±3,4 (16–28)
Угол Wiberg, град.	4,4±3,3(-1...10)	3,8±3,9 (-3...12)
Степень костного покрытия, %	51,3±5,2 (43–60)	52±6,1 (41–64)
Краниальное смещение, см	0,9±0,4 (0,2–1,6)	1±0,3 (0,4±1,7)
ШДУ, град.	133,7±3,9 (127–140)	134,8±3,5 (128–140)
УА, град.	36,1±6,6 (26–46)	36,2±7,4 (25–45)

Пациентам обеих групп выполнена тройная остеотомия таза по методике М.М. Камоско с соавторами [27]. У всех пациентов основной группы в ходе операции место и направление остеотомии тела подвздошной кости, а также величину коррекции пространственного положения вертлужной впадины планировали и осуществляли при помощи персонифицированных шаблонов.

Результат выполнения тройной остеотомии таза с использованием индивидуальных шаблонов представлен на рисунке 2.

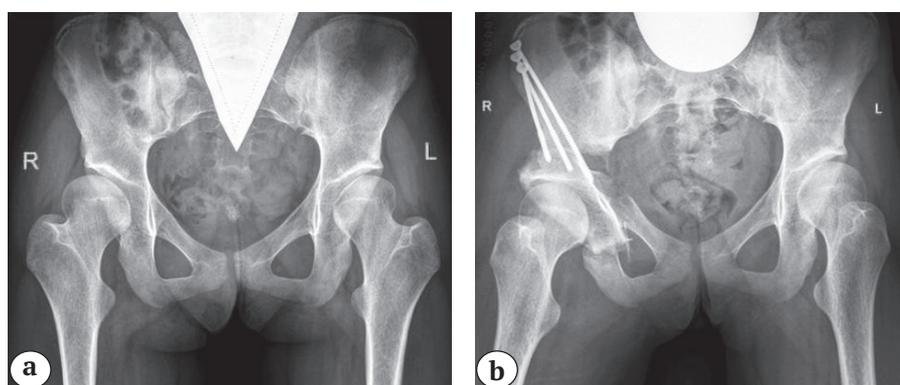
В результате проведенного хирургического лечения обеспечена адекватная коррекция пространственного положения вертлужной впадины с нормализацией показателей стабильности

сустава, соответствующих диапазону вариации допустимых значений.

Пациентам контрольной группы коррекцию пространственного положения вертлужной впадины после тройной остеотомии таза выполняли на основании данных стандартного лучевого исследования (рентгенограмм и КТ). Результаты представлены на рисунке 3.

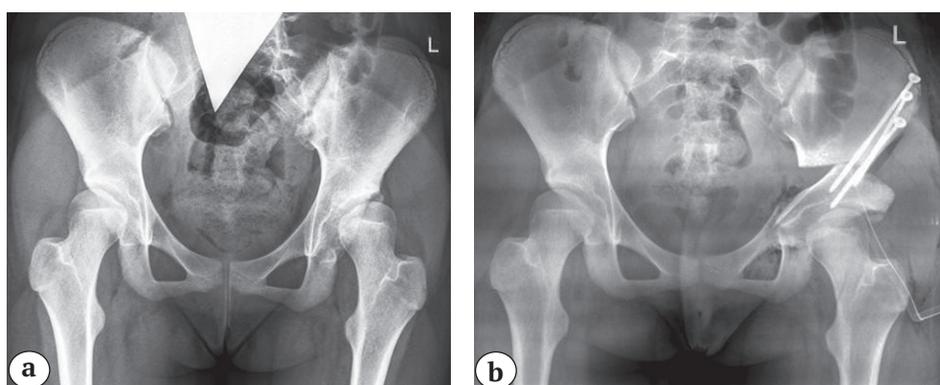
В результате проведенного вмешательства отмечалась гиперкоррекция положения вертлужной впадины во фронтальной плоскости.

Результаты проведенной коррекции оценивали по данным рентгенографии тазобедренных суставов в передне-задней проекции перед выпиской пациентов из клиники отделения (табл. 2).



**Рис. 2.** Рентгенограмма тазобедренных суставов в передне-задней проекции пациентки, 15 лет:  
а — до операции;  
б — после выполнения реориентирующей тройной остеотомии таза с использованием персонифицированных шаблонов

**Fig. 2.** X-ray of hip joints in the A-P view, patient, 15 y.o.:  
a — before surgery;  
b — after re-orienting triple pelvic osteotomy with patient-specific templates



**Рис. 3.** Рентгенограмма тазобедренных суставов в передне-задней проекции пациентки, 16 лет:  
а — до операции;  
б — после выполнения реориентирующей тройной остеотомии таза с классическим способом планирования

**Fig. 3.** X-ray of hip joints in the A-P view, patient, 16 y.o.:  
a — before surgery;  
b — after re-orienting triple pelvic osteotomy according to standard planning procedure

Таблица 2

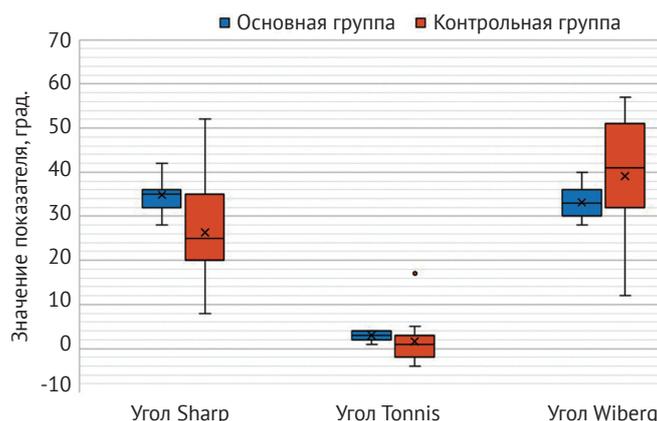
**Значения рентгенометрических величин, характеризующих пространственное положение вертлужной впадины и проксимального отдела бедра у пациентов после хирургического лечения**

Показатель	Пациенты основной группы M±SD (min-max)	Пациенты контрольной группы M±SD (min-max)
Угол Sharp, град.	34,9±3,7 (28–42)*	26,3±12 (8–52)*
Угол Tonnis, град.	2,9±0,9 (1–4)*	1,6±4,9(-4...17)*
Угол Wiberg, град.	33±3,9 (28–40)*	39±13,2 (12–57)*
Степень костного покрытия, %	100±6,8 (90–110)*	107±9,4 (80–120)*
Краниальное смещение, см	0,1±0,07(0–0,2)	0,15±0,08 (0–0,3)
ШДУ, град.	133,7±3,9 (127–140)	134,8±3,5 (128–140)
УА, град.	36,1±6,6 (26–46)	36,2±7,4 (25–45)

\* Статистически значимые различия ( $p < 0,05$ ).

На основании оценки данных таблицы 2 отмечено, что у пациентов основной группы значения как величин, характеризующих пространственное положение вертлужной впадины, так и интегральных показателей, относящихся к определению соотношений между тазовым и бедренным компонентом сустава и характеризующих стабильность тазобедренного сустава в целом, находились в диапазоне нормальной вариации. У 1 (6,7%) пациента отмечалась умеренная гиперкоррекция положения вертлужной впадины вследствие погрешностей на этапе планирования операции. У 14 (93,3%) пациентов достигнута адекватная коррекция пространственного положения вертлужной впадины и стабильности

тазобедренного сустава. Одновременно с этим аналогичные средние показатели у пациентов контрольной группы выходили за предел нижней границы физиологической нормы. Проведенный статистический анализ выявил значимые различия в значениях углов Sharp, Tonnis и Wiberg, а также степени костного покрытия у пациентов основной и контрольной группы ( $p < 0,05$ ). Помимо этого, по вышеуказанным рентгенологическим показателям значения стандартного отклонения у ряда пациентов контрольной группы превышали аналогичные в основной группе, что обуславливается случаями как гипер-, так и гипокоррекции пространственного положения ацетабулярного фрагмента (рис. 4).



**Рис. 4.** Распределение значений основных рентгенологических показателей пространственного положения вертлужной впадины и стабильности сустава у пациентов обеих групп. На графике приведены медианы (горизонтальная черта внутри закрашенной области), средние значения (символ X внутри закрашенной области), интерквартильный размах (закрашенная область), максимальные и минимальные значения (горизонтальные черточки на конце «усов»)

**Fig. 4.** Distribution of the main x-ray indicators of the three-dimensional positioning of the acetabulum and parameters of joint stability in patients of both groups. The graph demonstrates medians (horizontal line within the shaded area), mean values (X symbol within the shaded area), the interquartile range (shaded area), maximum and minimum values (horizontal lines at the whiskers ends)

В этой группе гиперкоррекция положения вертлужной впадины отмечена у 7 (46,7%) детей, а недостаточная коррекция — у 1 (6,7%) пациента. Таким образом, адекватная интраоперационная коррекция была достигнута в 46,6% наблюдений.

### Обсуждение

Дисплазия тазобедренных суставов у детей характеризуется уменьшением площади нагрузки на суставные поверхности головки бедренной кости и вертлужной впадины, что приводит к гиперпрессии гиалинового хряща и является одной из причин развития раннего коксартроза. На сегодняшний день в литературе имеется большое количество публикаций, касающихся хирургического лечения детей с различной степенью тяжести дисплазии тазобедренных суставов посредством выполнения реориентирующих остеотомий таза [28–30]. Появились исследования, указывающие на формирование гиперкоррекции пространственного положения тазового компонента в результате этих хирургических вмешательств [31–34]. Однако необходимо подчеркнуть, что эти работы носят достаточно противоречивый характер с точки зрения оценки этой гиперкоррекции как с клинической стороны, так и на основании данных лучевого исследования. Так, С. Klein с соавторами, проведя ретроспективное исследование результатов обследования и лечения 31 ребенка в возрасте от 6 до 15 лет (41 тазобедренный сустав) методом тройной остеотомии таза, заявили, что полученная в ходе хирургического лечения гиперкоррекция положения вертлужной впадины даже в трех плоскостях, не привела к ограничению амплитуды движений в тазобедренном суставе. Более того, ни у одного пациента не отмечалось изменений в привычном образе жизни [31]. Однако одним из выводов этой публикации является необходимость тщательного предоперационного планирования с целью обеспечения минимального процента гиперкоррекции при подобных операциях. Ряд других исследователей утверждает, что избыточная коррекция положения вертлужной впадины, особенно спереди, приводит к значимому снижению амплитуды движений в тазобедренном суставе, сохраняющемуся болевому синдрому и, как следствие, неудовлетворенности пациента столь травматичным хирургическим вмешательством [32–34]. Все это подчеркивает необходимость поиска решений для осуществления максимально точной индивидуальной многоплоскостной коррекции пространственного положения вертлужной впадины в ходе выполнения реориентирующей остеотомии таза для исключения возникновения как ранних, так и поздних послеоперационных осложнений.

Развитие технологий 3D-моделирования с разработкой и созданием индивидуальных шаблонов с целью осуществления различного рода ортопедических операций позволило максимально точно выполнять хирургические вмешательства и получать оптимальные результаты [20].

Отметим, что работ, посвященных применению индивидуальных шаблонов для выполнения тройной остеотомии таза у пациентов детского возраста, мы не обнаружили. Единственная публикация на эту тему принадлежит группе авторов из Китая, которые в ходе анатомо-топографического исследования доказали эффективность и целесообразность использования навигационных шаблонов при выполнении бернской периацетабулярной остеотомии [35].

Полученные в настоящем исследовании данные свидетельствуют о статистически значимых различиях ( $p < 0,05$ ) в показателях, характеризующих как пространственную ориентацию вертлужной впадины (углы Sharp, Tonnis), так и стабильность тазобедренного сустава (угол Wiberg, степень костного покрытия) у пациентов основной и контрольной групп после проведенного хирургического лечения. Создание корректного пространственного положения вертлужной впадины во фронтальной плоскости, укладывающегося в пределы нормальных вариационных значений для этого показателя у пациентов основной группы, обеспечило нормализацию интегральных показателей, характеризующих соотношение тазового и бедренного компонентов сустава и, как результат, его стабильность в целом. Анализ рентгенометрических показателей показал, что у 46,7% пациентов контрольной группы имелась гиперкоррекция пространственного положения вертлужной впадины. Конечным исходом такой рентгенологической ситуации, как правило, является формирование ринсер-типа фемороацетабулярного импинджмента с соответствующими клиническими проявлениями [26, 32, 36]. Кроме того, у 6,7% пациентов контрольной группы отмечалась недостаточная коррекция положения вертлужной впадины, что не обеспечило надлежащей степени костного покрытия головки бедренной кости и не способствовало перераспределению нагрузки на суставные поверхности головки бедренной кости и вертлужной впадины. Это создает условия для развития и прогрессирования диспластического коксартроза.

Исследование ограничено рентгенологической оценкой состояния тазобедренного сустава в раннем послеоперационном периоде, что не позволяет оценить пространственное положение вертлужной впадины и стабильность тазобедренного сустава в сагиттальной плоскости, а также провести объективную оценку жалоб и ортопедического

статуса пациентов основной и контрольной групп после возобновления самостоятельной ходьбы без вспомогательных средств опоры.

Результаты проведенного исследования показали, что применение индивидуальных шаблонов в ходе выполнения реориентирующей тройной остеотомии таза при лечении детей с диспластическим подвывихом бедра, в отличие от общепринятой методики планирования, позволяет нивелировать возможные погрешности пространственного положения вертлужной впадины как в сторону гипер-, так и гипокоррекции тазового компонента. Это создает условия для обеспечения адекватной стабильности тазобедренного сустава, что подтверждается значениями основных рентгенологических индексов, укладывающихся в диапазон их нормальных значений.

Необходимо дальнейшее изучение результатов выполнения тройной остеотомии таза по предложенной методике с целью детальной оценки клинико-рентгенологической картины и улучшения качества лечения детей с диспластическим подвывихом бедра.

#### Этика публикации

Исследование обсуждено и одобрено этическим комитетом ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России (протокол № 2017/6 от 28.11.2017 г.).

Законные представители пациентов дали письменное информированное согласие на публикацию клинических наблюдений.

*Конфликт интересов:* не заявлен.

*Источник финансирования:* государственное бюджетное финансирование.

#### Вклад авторов

*Бортулёв П.И.* — разработка дизайна исследования, написание всех разделов статьи, сбор и анализ данных, обзор литературы.

*Виссарионов С.В.* — разработка методологии исследования, формулировка цели, этапное и заключительное редактирование текста статьи.

*Басков В.Е.* — сбор данных.

*Барсуков Д.Б.* — сбор данных.

*Поздниккин И.Ю.* — сбор данных.

*Познович М.С.* — проведение 3D-моделирования и прототипирования.

#### Литература [References]

1. Čustović S., Šadić S., Vujadinović A., Hrutić A., Jašarević M., Čustović A., Krupić F. The predictive value of the clinical sign of limited hip abduction for developmental dysplasia of the hip (DDH). *Med Glas (Zenica)*. 2018;15(2):174-178. doi: 10.17392/954-18.
2. Kotlarsky P., Haber R., Bialik V., Eidelman M. Developmental dysplasia of the hip: What has changed in the last 20 years? *World J Orthop*. 2015;6(11):886-901. doi: 10.5312/wjo.v6.i11.886.
3. Сертакова А.В., Морозова О.Л., Рубашкин С.А., Тимаев М.Х., Норкин И.А. Перспективы молекулярной диагностики дисплазии тазобедренных суставов у детей. *Вестник Российской академии медицинских наук*. 2017;72(3):195-202. doi: 10.15690/vramn806. Sertakova A.V., Vladimirovna O.L., Rubashkin S.A., Timaev M.C., Norkin I.A. [Challenges of molecular-based diagnosis developmental dysplasia of the hip in childhood]. [Annals of the Russian Academy of Medical Sciences]. 2017;72(3):195-202. (In Russian). doi: 10.15690/vramn806.
4. Dezateux C., Rosendahl K. Developmental dysplasia of the hip. *Lancet*. 2007;369(9572):1541-1552. doi: 10.1016/S0140-6736(07)60710-7.
5. Roof A.C., Jinguji T.M., White K.K. Musculoskeletal screening: developmental dysplasia of the hip. *Pediatr Ann*. 2013;42(11):229-235. doi: 10.3928/00904481-20131022-10.
6. Поздниккин И.Ю., Басков В.Е., Волошин С.Ю., Барсуков Д.Б., Краснов А.И., Познович М.С. и др. Ошибки диагностики и начала консервативного лечения детей с врожденным вывихом бедра. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2017;5(2):42-51. doi: 10.17816/PTORS5242-51. Pozdnikin I.Yu., Baskov V.E., Voloshin S.Yu., Barsukov D.B., Krasnov A.I., Poznovich M.S. [Errors of diagnosis and the initiation of conservative treatment in children with congenital hip dislocation]. *Ortopediya, travmatologiya i vosstanovitel'naya khirurgiya detskogo vozrasta* [Pediatric Traumatology, Orthopaedics, and Reconstructive Surgery]. 2017;5(3):42-51 (In Russian). doi: 10.17816/PTORS5242-51.
7. Камоско М.М., Баиндурашвили А.Г. Диспластический коксартроз у детей и подростков (клиника, патогенез, хирургическое лечение). СПб.: СпецЛит, 2010. 200 с. Kamosko M.M., Baidurashvili A.G. [Displasticheskii koksartroz u detei i podrostkov (klinika, patogenez, khirurgicheskoe lechenie)]. St. Petersburg: SpetsLit; 2010. 200 p. (In Russian).
8. Анисимова Е.А., Юсупов К.С., Анисимов Д.И. Морфология костных структур тазобедренного сустава в норме и при диспластическом коксартрозе. *Саратовский научно-медицинский журнал*. 2014;10(3):373-377. Anisimova E.A., Yusupov K.S., Anisimov D.I. Morphology of bone structures of hip joint in normal state and in dysplastic coxarthrosis (review). *Saratovskij nauchno-medicinskij zhurnal* [Saratov Journal of Medical Scientific Research]. 2014;10(3):373-377. (In Russian).
9. Норкин И.А., Петров А.Б., Жаденов И.И. Биологическая модель диспластического коксартроза (экспериментальное исследование). *Травматология и ортопедия России*. 2006;(4):59-63. Norkin I.A., Petrov A.B., Zhadenov I.I. [Biological model of displastic coxarthrosis (experimental research)]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2006;(4):59-63. (In Russian).
10. Соколовский О.А. Результаты тройной остеотомии таза при дисплазии тазобедренного сустава у подростков. *Вестник ВГМУ*. 2012;11(4):74-49. Sokolovskii O.A. [The results of triple pelvic osteotomy in hip joint dysplasia in adolescents]. *Vestnik VGMU [Journal of Vitebsk State Medical University]*. 2012;11(4):74-49. (In Russian).

11. Кожевников В.В., Ворончихин Е.В., Григоричева Л.Г., Лобанов М.Н., Буркова И.Н. Показания и эффективность лечения детей с остаточной дисплазией тазобедренного сустава путем тройной остеотомии таза. *Детская хирургия*. 2017;21(4):197-201. doi: 10.18821/1560-9510-2017-21-4-197-201.  
Kozhevnikov V. V., Voronchikhin E.V., Grigoricheva L.G., Lobanov M.N., Burkova I.N. [Indications for and efficiency of treatment of children with residual hip joint dysplasia by triple pelvic osteotomy]. [Russian Journal of Pediatric Surgery]. 2017;21(4):197-201. doi: 10.18821/1560-9510-2017-21-4-197-201.
12. Konya M.N., Tuhanioglu Ü., Aslan A., Yildirim T., Bursali A., Sahin V., Demir B. A comparison of short-term clinical and radiological results of Tönnis and Steel pelvic osteotomies in patients with acetabular dysplasia. *Eklemler Hastalıkları Cerrahisi*. 2013;24(2):96-101. doi: 10.5606/ehc.2013.22.
13. Farsetti P., Caterini R., De Maio F., Potenza V., Efremov K., Ippolito E. Tönnis triple pelvic osteotomy for the management of late residual acetabular dysplasia: mid-term to long-term follow-up study of 54. *J Pediatr Orthop B*. 2018 Nov 26. doi: 10.1097/BPB.0000000000000575.
14. Li Y., Xu H., Slongo T., Zhou Q., Chen W., Li J., Canavese F. Bernese-type triple pelvic osteotomy through a single incision in children over five years: a retrospective study of twenty eight cases. *Int Orthop*. 2018;42(12):2961-2968. doi: 10.1007/s00264-018-3946-3.
15. Pascual-Garrido C., Harris M., Clohisy J. Innovations in joint preservation procedures for the dysplastic hip. "The Periacetabular Osteotomy". *J Arthroplasty*. 2017;32(9):S32-37. doi: 10.1016/j.arth.2017.02.015.
16. Leunig M., Ganz R. The evolution and concepts of joint-preserving surgery of the hip. *Bone Joint J*. 2014;96: B5-18. doi: 10.1302/0301-620X.96B1.32823.
17. Tschauner C., Sylkin A., Hofmann S., Graf R. Painful nonunion after triple pelvic osteotomy. Report of five cases. *J Bone Joint Surg [Br]*. 2003;85-b:953-955. doi: 10.1302/0301-620X.85b7.14173.
18. Yilmaz E., Damla H., Norvell D.C., Kalchschmidt K., Luering C., Zahedi A.R. Risk factors associated with non-union after triple pelvic osteotomy (Tönnis and Kalchschmidt technique): a case-control study and review of the literature. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2019;139(2):173-180. doi: 10.1007/s00402-018-3060-4.
19. Dungal P., Rejholec M., Chomiak J., Grill F. The role of triple pelvic osteotomy in therapy of residual hip dysplasia and sequel of AVN: long-term experience. *Hip Int*. 2007;17 Suppl 5:S51-64.
20. Ma L., Zhou Y., Zhu Y., Lin Z., Wang Y., Zhang Y. et al. 3D-printed guiding templates for improved osteosarcoma resection. *Sci Rep*. 2016;6:23335. doi: 10.1038/srep23335.
21. Chen H., Wang G., Li R., Sun Y., Wang F. Zhao H. et al. A novel navigation template for fixation of acetabular posterior column fractures with antegrade lag screws: design and application. *Int Orthopaedics (SICOT)*. 2016;40:827-834. doi: 10.1007/s00264-015-2813-8.
22. Shao Z.X., Wang J.S., Lin Z.K., Ni W.F., Wang X.Y., Wu AM. Improving the trajectory of transpedicular transdiscal lumbar screw fixation with a computer-assisted 3D-printed custom drill guide. *Peer J*. 2017;5:e3564. doi: 10.7717/peerj.3564.
23. Басков В.Е., Байдурашвили А.Г., Филиппова А.В., Барсуков Д.Б., Краснов А.И., Поздниккин И.Ю., Бортулев П.И. Планирование корригирующей остеотомии бедренной кости с использованием 3D-моделирования. Часть II. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2017;5(3):74-79.  
Baskov V.E., Baidurashvili A.G., Filippova A.V., Barsukov D.B., Krasnov A.I., Pozdnikin I.Y., Bortulev P.I. [Planning corrective osteotomy of the femoral bone using three-dimensional modeling. Part II]. *Ortopediya, travmatologiya i vosstanovitel'naya khirurgiya detskogo vozrasta* [Pediatric Traumatology, Orthopaedics, and Reconstructive Surgery]. 2017;5(3):74-79. (In Russian). doi: 10.17816/PTORS5368-73.
24. Zheng P., Xu P., Yao Q., Tang K., Lou Y. 3D-printed navigation template in proximal femoral osteotomy for older children with developmental dysplasia of the hip. *Sci Rep*. 2017;7:44993. doi: 10.1038/srep44993.
25. Бортулев П.И., Виссарионов С.В., Басков В.Е., Овечкина А.В., Барсуков Д.Б., Поздниккин И.Ю. Клинико-рентгенологические показатели позвоночно-тазовых соотношений у детей с диспластическим подвывихом бедра. *Травматология и ортопедия России*. 2018;24(3):74-82. doi: 10.21823/2311-2905-2018-24-3-74-82.  
Bortulev P.I., Vissarionov S.V., Baskov V.E., Ovechkina A.V., Barsukov D.B., Pozdnikin I.Y. [Clinical and roentgenological criteria of spine-pelvis ratios in children with dysplastic femur subluxation]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2018;24(3):74-82. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2018-24-3-74-82.
26. Тихилов Р.М., Шубняков И.И., Плиев Д.Г., Богопольский О.Е., Гуцаев М.С. Возможности рентгенографии в ранней диагностике патологии тазобедренного сустава. *Травматология и ортопедия России*. 2017;23(1): 117-131. doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-1-117-131.  
Tikhilov R.M., Shubnyakov I.I., Pliev D.G., Bogopolsky O.Y., Guatsaev M.S. [Roentgenography potentialities for early diagnosis of hip pathologies]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2017;23(1):117-131. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2017-23-1-117-131.
27. Камоско М.М., Басков В.Е., Барсуков Д.Б., Поздниккин И.Ю., Григорьев И.В. Транспозиция вертлужной впадины путем тройной остеотомии таза при лечении детей с дисплазией тазобедренного сустава. *Травматология и ортопедия России*. 2014;73(3):76-85. (In Russian).  
Kamosko M.M., Baskov V.E., Barsukov D.B., Pozdnikin I.Yu., Grigor'ev I.V. [Transposition of the acetabulum after triple pelvic osteotomy in the treatment of children with hip dysplasia]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2014;73(3):76-85. (In Russian).
28. Baki M.E., Abdioglu A., Aydin H., Kerimoğlu S., Bak C. Triple pelvic osteotomy for the treatment of symptomatic acetabular dysplasia in adolescents and adults : A review of 42 hips. *Acta Orthop Belg*. 2016;82(4):699-704.
29. Zahedi A.R., Lüring C., Janßen D. [Tönnis and Kalchschmidt triple pelvic osteotomy]. *Orthopäde*. 2016;45(8):673-677. (In German). doi: 10.1007/s00132-016-3291-4.
30. Lerch T.D., Steppacher S.D., Liechti E.F., Siebenrock K.A., Tannast M. [Bernese periacetabular osteotomy: Indications, technique and results 30 years after the first description]. *Orthopäde*. 2016;45(8):687-694. (In German). doi: 10.1007/s00132-016-3265-6.
31. Klein C., Fontanarosa A., Khouri N., Bellity J., Padovani J.P., Glorion C., Wicart P. Anterior and lateral overcoverage after triple pelvic osteotomy in childhood

- for developmental dislocation of the hip with acetabular dysplasia: Frequency, features, and medium-term clinical impact. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2018;104(3): 383-387. doi: 10.1016/j.otsr.2017.12.020.
32. Castaneda P., Vidal-Ruiz C., Méndez A., Salazar D.P., Torres A. How Often Does Femoroacetabular Impingement Occur After an Innominate Osteotomy for Acetabular Dysplasia? *Clin Orthop Relat Res.* 2016;474:1209-1215 doi: 10.1007/s11999-016-4721-7.
33. Biedermann R., Donnan L., Gabriel A., Wachter R., Krismer M., Behensky H. Complications and patient satisfaction after periacetabular pelvic osteotomy. *Int Orthop.* 2008;32(5):611-617.
34. Ziebarth K., Balakumar J., Domayer S., Kim Y.J., Millis M.B. Bernese Periacetabular Osteotomy in Males. Is There an Increased Risk of Femoroacetabular Impingement (FAI) After Bernese Periacetabular Osteotomy? *Clin Orthop Relat Res.* 2010; 469:447-453. doi: 10.1007/s11999-010-1544-9.
35. Zhou Y., Kang X., Li C., Xu X., Li R., Wang J. et al. Application of a 3-dimensional printed navigation template in Bernese periacetabular osteotomies: A cadaveric study. *Medicine (Baltimore).* 2016;95(50):e5557.
36. Myers S.R., Eijer H., Ganz R. Anterior femoroacetabular impingement after periacetabular osteotomy. *Clin Orthop Relat Res.* 1999;363:93-99.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

*Бортулёв Павел Игоревич* — научный сотрудник отделения патологии тазобедренного сустава, ФГБУ «Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург

*Виссарионов Сергей Валентинович* — д-р мед. наук, профессор, заместитель директора по научной и учебной работе, руководитель отделения патологии позвоночника и нейрохирургии, ФГБУ «Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И. Турнера» Минздрава России; профессор кафедры детской травматологии и ортопедии, ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, Санкт-Петербург

*Басков Владимир Евгеньевич* — канд. мед. наук, руководитель отделения патологии тазобедренного сустава, ФГБУ «Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург

*Барсуков Дмитрий Борисович* — канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения патологии тазобедренного сустава, ФГБУ «Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург

*Поздникин Иван Юрьевич* — канд. мед. наук, научный сотрудник отделения патологии тазобедренного сустава, ФГБУ «Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург

*Познович Махмуд Станиславович* — научный сотрудник генетической лаборатории Центра редких и наследственных заболеваний у детей и нейрохирургии, ФГБУ «Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург

## AUTHOR'S AFFILIATIONS:

*Pavel I. Bortulev* — Research Associate, Department of Hip Pathology, Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, St. Petersburg, Russian Federation

*Sergei V. Vissarionov* — Dr. Sci. (Med.), Professor, Deputy Director for Science, Head of the Department of Spinal Pathology and neurosurgery, Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics; Professor of Traumatology and Orthopaedics Department, Mechnikov North-Western State Medical University, St. Petersburg, Russian Federation

*Vladimir E. Baskov* — Cand. Sci. (Med.), Head of the Department of Hip Pathology, Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, St. Petersburg, Russian Federation

*Dmitry B. Barsukov* — Cand. Sci. (Med.), Senior Research Associate, Department of Hip Pathology, Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, St. Petersburg, Russian Federation

*Ivan Yu. Pozdnikin* — Cand. Sci. (Med.), Research Associate, Department of Hip Pathology, Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, St. Petersburg, Russian Federation

*Mahmud S. Poznovich* — Research Associate, Genetic laboratory of the Center for Rare and Hereditary Diseases in Children and Neurosurgery, Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, St. Petersburg, Russian Federation