

УДК 616.718.41-001.512-053.7-073.75  
DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS111772>

Оригинальное исследование



# Оценка рентгенологических показателей позвоночно-тазовых соотношений у детей с тяжелой формой юношеского эпифизеолиза головки бедренной кости

Д.Б. Барсуков<sup>1</sup>, П.И. Бортулёв<sup>1</sup>, С.В. Виссарионов<sup>1,2</sup>, И.Ю. Поздникин<sup>1</sup>, Т.В. Баскаева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера, Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup> Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

**Обоснование.** Юношеский эпифизеолиз головки бедренной кости — одно из наиболее тяжелых заболеваний тазобедренного сустава в детском возрасте, которое характеризуется смещением проксимального эпифиза бедренной кости, происходящим в результате снижения механической прочности его ростковой пластинки. Некоторые патологические процессы в тазобедренных суставах и в пояснично-крестцовом отделе позвоночника служат причиной изменения положения (верзии) таза в сагиттальной плоскости и дегенеративно-дистрофических заболеваний. Анализ состояния позвоночно-тазовых соотношений у детей с юношеским эпифизеолизом головки бедренной кости может составить основу для разработки новых подходов к хирургической коррекции деформации бедренного компонента пораженного сустава.

**Цель** — оценить рентгенологические показатели фронтальных и сагиттальных позвоночно-тазовых соотношений у детей с деформацией проксимального отдела бедренной кости при юношеском эпифизеолизе головки бедренной кости.

**Материалы и методы.** В исследование вошли 30 пациентов (30 тазобедренных суставов) в возрасте от 11 до 14 лет с тяжелой формой юношеского эпифизеолиза головки бедренной кости — со смещением эпифиза кзади более 60° в сочетании со смещением книзу не более 10° в одном из суставов и отсутствием смещения (стадия предскользывания) в другом. Пациентам проводили клиническое и рентгенологическое исследования. На рентгенограммах, выполненных в положении стоя, оценивали показатели величины грудного кифоза и поясничного лордоза, тазового угла (PI), угла наклона крестца (SS), угла отклонения таза (PT), а также значения сагиттальной вертикальной оси (SVA) и позвоночно-крестцового угла (SSA). Полученные данные подвергнуты статистической обработке.

**Результаты.** У вышеописанного контингента больных выявлены ретроверзия таза (уменьшены значения показателей PI и SS, увеличено значение показателя PT), формирование гиполордотического типа вертикальной осанки по классификации P. Roussouly. Кроме того, отмечены формирование грудного гиперкифоза и выраженное смещение сагиттальной вертикальной оси кпереди, что можно рассматривать как механизм компенсации баланса туловища в условиях ретроверзии таза и уменьшения поясничного лордоза для поддержания возможности к передвижению в вертикальном положении.

**Заключение.** Для детей с рассматриваемой тяжелой формой юношеского эпифизеолиза головки бедренной кости характерны ретроверзия таза, уменьшение поясничного лордоза и увеличение грудного кифоза, положительный дисбаланс туловища, перекос таза в сторону пораженной конечности. При планировании и проведении реконструктивно-восстановительных вмешательств на пораженном тазобедренном суставе необходимо учитывать патологические изменения с целью восстановления правильных позвоночно-тазовых соотношений и профилактики дегенеративно-дистрофических процессов в пояснично-крестцовом отделе позвоночника.

**Ключевые слова:** юношеский эпифизеолиз головки бедренной кости; тазобедренный сустав; позвоночник; позвоночно-тазовый комплекс; сагиттальный профиль позвоночника.

Как цитировать:

Барсуков Д.Б., Бортулёв П.И., Виссарионов С.В., Поздникин И.Ю., Баскаева Т.В. Оценка рентгенологических показателей позвоночно-тазовых соотношений у детей с тяжелой формой юношеского эпифизеолиза головки бедренной кости // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2022. Т. 10. № 4. С. 365–374. DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS111772>

Рукопись получена: 10.10.2022

Рукопись одобрена: 11.11.2022

Опубликована: 23.12.2022

DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS111772>

Original Study Article

# Evaluation of radiological indices of the spine and pelvis ratios in children with a severe form of slipped capital femoral epiphysis

Dmitriy B. Barsukov<sup>1</sup>, Pavel I. Bortulev<sup>1</sup>, Sergei V. Vissarionov<sup>1, 2</sup>, Ivan Yu. Pozdnykin<sup>1</sup>,  
Tamila V. Baskayeva<sup>1</sup><sup>1</sup> H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russia;<sup>2</sup> North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia

**BACKGROUND:** Slipped capital femoral epiphysis is one of the most severe diseases of the hip joint in children and is characterized by the displacement of the proximal femoral epiphysis, occurring as a result of a decrease in the mechanical strength of its growth plate. Some pathological processes in the hip joints and lumbosacral spine cause changes in the position (vergence) of the pelvis in the sagittal plane and the development of degenerative dystrophic diseases. The analysis of the spine–pelvis relationships in children with slipped capital femoral epiphysis may provide the basis for the development of new approaches to the surgical correction of the deformity of the hip component of the affected joint.

**AIM:** To assess the radiological parameters of the frontal and sagittal spine–pelvis relations in children with proximal femur deformity in slipped capital femoral epiphysis.

**MATERIALS AND METHODS:** The study included 30 patients (30 hips) aged 11–14 years with a severe form of slipped capital femoral epiphysis characterized by the presence of a posterior displacement of the epiphysis of  $>60^\circ$  combined with the downward displacement of no more than  $10^\circ$  in one of the joints and absence of displacement (pre-slip stage) in the other. Patients underwent clinical and radiological examinations. The radiographs taken in the standing position were used to assess the values of thoracic kyphosis and lumbar lordosis, pelvic incidence (PI), sacral slope (SS), pelvic tilt (PT), sagittal vertical axis (SVA), and spine–sacral angle (SSA). The obtained data were subjected to statistical processing.

**RESULTS:** The patients had pelvic retroversion (decreased values of the PI and SS indices and increased PT index) and formed hypolordotic type of vertical posture according to P. Roussouly classification. In addition, thoracic hyperkyphosis occurred, and the SVA shifted to the front, which can be considered a mechanism of trunk balance compensation for the existing pelvic retroversion and reduction of lumbar lordosis to maintain the ability to move in an upright position.

**CONCLUSIONS:** Children with this severe form of slipped capital femoral epiphysis are characterized by pelvic retroversion, decreased lumbar lordosis and increased thoracic kyphosis, positive trunk imbalance, and PT toward the affected limb. Planning and reconstructive restorative interventions on the affected hip joint should consider existing pathological changes to restore the correct spine–pelvis relationships and prevent degenerative dystrophic processes in the lumbosacral spine.

**Keywords:** slipped capital femoral epiphysis; hip joint; spine; vertebral-pelvic complex; sagittal profile of the spine.

## To cite this article:

Barsukov DB, Bortulev PI, Vissarionov SV, Pozdnykin IYu, Baskayeva TV. Evaluation of radiological indices of the spine and pelvis ratios in children with a severe form of slipped capital femoral epiphysis. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2022;10(4):365–374. DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS111772>

Received: 10.10.2022

Accepted: 11.11.2022

Published: 23.12.2022

## ОБОСНОВАНИЕ

Юношеский эпифизеолиз головки бедренной кости (ЮЭГБК) — одно из наиболее тяжелых заболеваний тазобедренного сустава в детском возрасте, встречаемость которого составляет от 0,2 до 10 на 100 000 детей. Заболевание характеризуется смещением проксимального эпифиза бедренной кости в результате снижения механической прочности его ростковой пластинки под влиянием гормональных нарушений [1–3]. Чаще всего смещение эпифиза, которое может быть одно- или двусторонним, начинается в возрасте 12–13 лет и носит хронический характер, типичные направления смещения — кзади и книзу или только кзади. В результате формируется деформация бедренного компонента тазобедренного сустава той или иной степени выраженности, нарушающая соотношения в последнем и проявляющаяся наружно-ротационным положением и укорочением конечности, а также ограничением амплитуды и болезненностью движений бедра [4, 5].

Исследования последних лет показали, что именно позвоночно-тазовый комплекс, который образует единую кинематическую систему, поддерживает концепцию «конуса экономии» [6–9]. Вместе с тем прогрессирующие анатомо-биомеханические изменения при различных патологических процессах в тазобедренных суставах или в позвоночно-двигательных сегментах пояснично-крестцового отдела позвоночника приводят к изменениям в системе тазобедренные суставы — таз — пояснично-крестцовый отдел позвоночника, отягощая уже существующую деформацию и прогрессирование дегенеративно-дистрофических заболеваний. Эти явления происходят за счет изменения положения (верзии) таза в сагиттальной плоскости и в достаточной мере описаны у пациентов с различной патологией позвоночника, дисплазией тазобедренных суставов, hip-spine-синдромом, коксартрозом [10–16].

Одновременно с этим необходимо подчеркнуть, что анализ состояния позвоночно-тазовых соотношений дает понимание пространственных взаимоотношений позвоночника и таза и предоставляет возможность досконально оценить параметры с точки зрения диагностики патологических изменений, сформировавшихся в системе позвоночник — тазобедренные суставы. Все это может составить основу для разработки новых подходов к хирургической коррекции деформаций у детей с ЮЭГБК. В настоящее время в литературе отсутствуют данные о фронтальных и сагиттальных позвоночно-тазовых соотношениях у детей с деформацией проксимального отдела бедренной кости при ЮЭГБК.

**Цель** — оценить рентгенологические показатели фронтальных и сагиттальных позвоночно-тазовых соотношений у детей с деформацией проксимального отдела бедренной кости при юношеском эпифизеолизе головки бедренной кости.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

*Дизайн исследования:* моноцентровое открытое когортное проспективное исследование (STROBE).

Критерии включения пациентов в исследование:

- отсутствие операций на тазобедренных суставах;
- возраст от 11 до 14 лет;
- наличие смещения эпифиза кзади более  $60^\circ$  в сочетании со смещением книзу не более  $10^\circ$  в одном из тазобедренных суставов при отсутствии смещения (стадия предсоскальзывания) в другом;
- хронический характер смещения эпифиза;
- отсутствие врожденной и приобретенной патологии позвоночного столба, неврологических нарушений со стороны туловища и нижних конечностей, а также системных и генетических заболеваний;
- добровольное информированное согласие пациентов и их родителей на участие в данном исследовании.

Критерии исключения:

- возраст менее 11 и более 14 лет;
- отсутствие смещения эпифиза кзади более  $60^\circ$  в сочетании со смещением книзу не более  $10^\circ$  в одном из тазобедренных суставов;
- смещение эпифиза в обоих тазобедренных суставах;
- острый характер смещения эпифиза;
- синовит тазобедренного сустава;
- сгибательная и/или приводящая контрактура бедра;
- врожденные пороки развития позвоночника, в том числе и нейтральные, верифицированные неврологические, системные и генетические заболевания.

В исследование вошли 30 пациентов (30 тазобедренных суставов) в возрасте от 11 до 14 лет (средний возраст —  $12,4 \pm 1,0$  года) с ЮЭГБК, характеризующимся смещением эпифиза кзади более  $60^\circ$  в сочетании со смещением книзу не более  $10^\circ$  в одном из суставов и отсутствием смещения (стадия предсоскальзывания) в другом. Из них мальчиков было 19 (63,3 %), девочек — 11 (36,7 %). Пациенты были госпитализированы для проведения комплексного обследования и хирургического лечения.

Клиническое исследование не отличалось от классической методики, применяемой у пациентов с ортопедической патологией тазобедренных суставов. Всем пациентам выполняли рентгенографию тазобедренных суставов в переднезадней проекции и в проекции Лауэнштейна в положении лежа, а также панорамную рентгенограмму нижних конечностей и боковую панорамную рентгенограмму позвоночника с захватом головок бедренных костей в положении стоя. На рентгенограммах, выполненных в положении лежа (рис. 1), определяли значения проекционного шеечно-диафизарного угла, проекционного эпифизо-диафизарного угла, эпифизарного угла и исключали признаки частичного и полного синостозирования на уровне эпифизарной зоны роста. Помимо этого, на стороне смещения оценивали значения углов смещения эпифиза кзади и книзу, а на контралатеральной стороне подтверждали



**Рис. 1.** Рентгенограммы тазобедренных суставов в переднезадней проекции (а) и в проекции Лауэнштейна (б) пациента А., 13 лет 2 мес., страдающего юношеским эпифизолизом головки бедренной кости со смещением эпифиза кзади на  $62^\circ$  и книзу на  $4^\circ$  справа и отсутствием смещения (стадия предскальзывания) слева

отсутствие смещения эпифиза. Угол смещения эпифиза кзади рассчитывали по разнице эпифизарных углов в суставе без смещения (индивидуальная норма) и в суставе со смещением, угол смещения книзу — по разнице шеечно-диафизарного и эпифизо-диафизарного углов в суставе со смещением. На рентгенограммах, выполненных в положении стоя (рис. 2), определяли показатели величины грудного кифоза и поясничного лордоза (по Cobb), тазового угла (pelvic incidence — PI), угла наклона крестца (sacral slope — SS), угла отклонения таза (pelvic tilt — PT), а также значения сагиттальной вертикальной оси (sagittal vertical axis — SVA) и позвоночно-крестцового угла (spino-sacral angle — SSA).

#### Статистический анализ

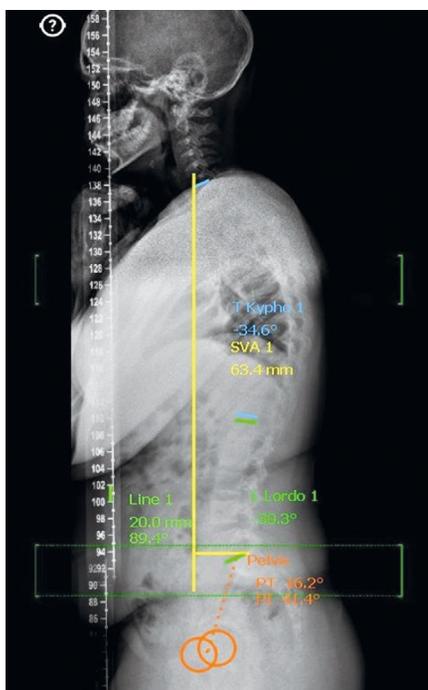
Полученные данные анализировали при помощи программы Surgimap v. 2.3.2.1. Статистический анализ проводили с использованием программ Excel 2010 и SPSS

Statistic v.26 (SPSS Inc. Chicago, Illinois, США). С помощью описательной статистики рассчитывали средние арифметические величины (M), стандартные отклонения (SD), медиану (Me) с 25-м и 75-м перцентильями ( $Q_1-Q_3$ ). Проводили корреляционный анализ (критерий Пирсона), при этом силу связи определяли по следующим показателям:  $0,01 \leq \rho \leq 0,29$  — слабая связь;  $0,30 \leq \rho \leq 0,69$  — умеренная связь;  $0,70 \leq \rho \leq 1,00$  — сильная связь. Значение коэффициента указывало на наличие положительной или отрицательной связи. Для оценки степени и варианта влияния одного признака на другой выполняли регрессионный анализ в виде парной линейной и квадратичной регрессионной модели. Долю выборки определяли с помощью коэффициента множественной детерминации ( $R^2$ ).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

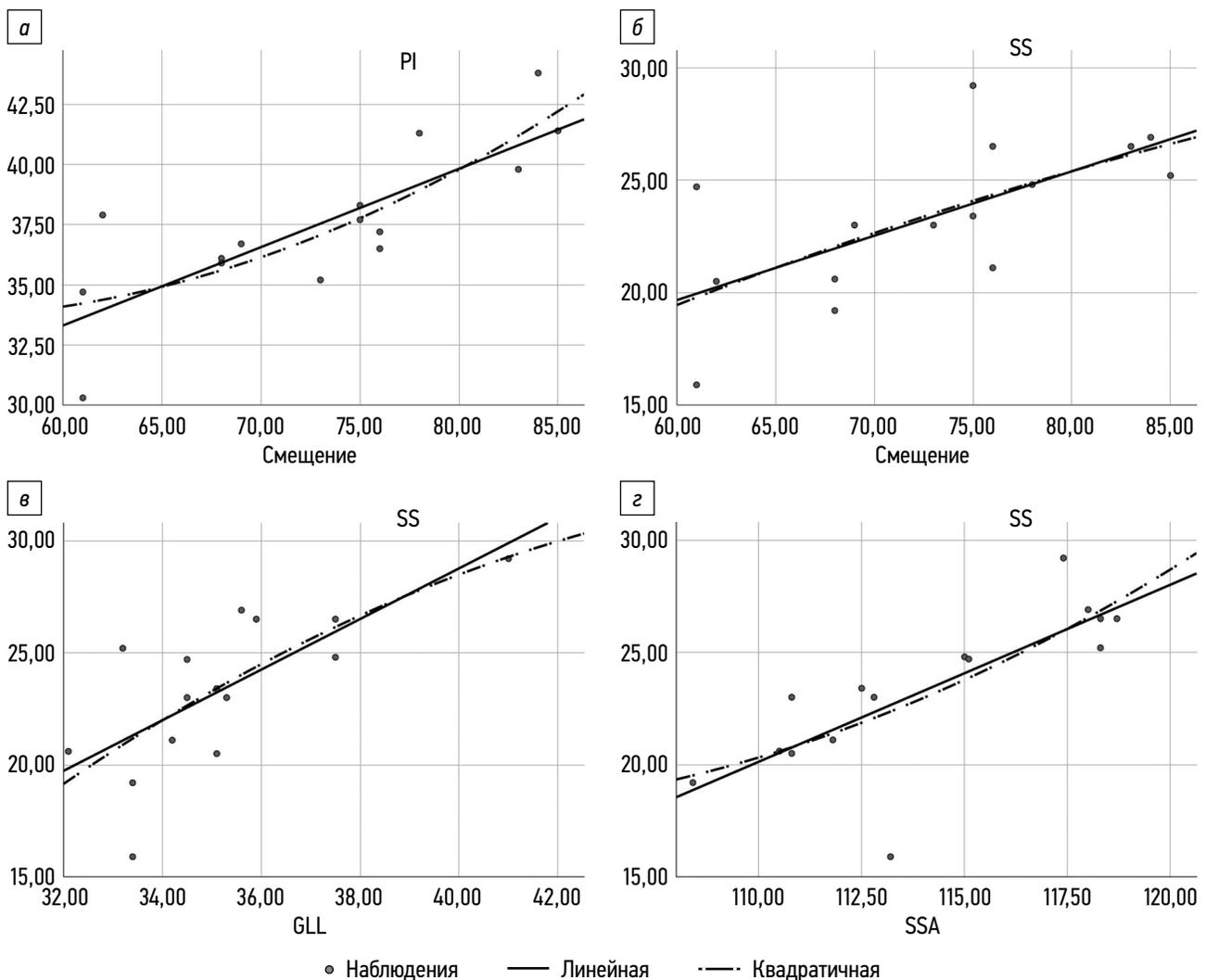
При госпитализации в клинику все пациенты жаловались на нарушение функции пораженной нижней конечности в виде ограничения амплитуды движений в тазобедренном суставе. Походку пациентов не оценивали в связи с назначением постельного режима — в качестве исключения детей с поддержкой вертикализировали только для клинического осмотра в положении стоя и выполнения двух рентгенограмм. При визуальном осмотре у всех пациентов отмечали наклон таза в сторону тазобедренного сустава со смещением эпифиза. Нарушения фронтального баланса позвоночника не было, а тест Адамса был отрицательный у всех пациентов. При клинической оценке физиологических изгибов позвоночника выявлено, что у 25 пациентов (83,3 %) наблюдалось уменьшение поясничного лордоза и увеличение грудного кифоза. Относительное укорочение нижней конечности на стороне деформации составило  $2,0 \pm 0,47$  см.

Нарушение функции нижней конечности на стороне поражения характеризовалось типичными для ЮЭГБК со смещением эпифиза тяжелой степени неустраняемым положением наружной ротации в тазобедренном суставе и ограничением амплитуды отведения и сгибания бедра, средние значения которых составили  $46,8 \pm 9,33$ ;



**Рис. 2.** Боковая панорамная рентгенограмма позвоночника с захватом головок бедренных костей того же пациента — пример расчета позвоночно-тазовых соотношений (пояснения см. в тексте)





**Рис. 4.** Результаты регрессионного анализа, отражающие взаимоотношения между фронтальными и сагиттальными позвоночно-тазовыми соотношениями: *а* — между тазовым углом (PI) и смещением эпифиза кзади; *б* — между углом наклона крестца и смещением эпифиза кзади; *в* — между углом наклона крестца (SS) и показателем глобального поясничного лордоза (GLL); *г* — между углом наклона крестца и позвоночно-крестцовым углом (SSA)

а аппроксимация считалась достаточно хорошей, так как 65 % выборки может быть обосновано формулой регрессии. Коэффициент детерминации ( $R^2$ ) между углом наклона крестца (SS) и величиной глобального поясничного лордоза (GLL) составил 0,51, а между углом наклона крестца (SS) и позвоночно-крестцовым углом (SSA) — 0,6. Обе модели значительно не отличались между собой, а аппроксимация считается удовлетворительной, так как не более 60 % выборки может быть обосновано формулой регрессии. Таким образом, на основании регрессионного анализа можно заключить, что у детей, страдающих рассматриваемой тяжелой формой ЮЗГБК, формируется гиполордотический тип вертикальной осанки согласно классификации P. Roussouly. Кроме того, формирование гиперкифоза и выраженное смещение SVA кпереди можно расценивать как механизм компенсации баланса туловища в условиях ретроверзии таза и уплощения поясничного лордоза для поддержания возможности к передвижению в вертикальном положении.

## ОБСУЖДЕНИЕ

На сегодняшний день общеизвестно, что различные заболевания тазобедренных суставов влияют на состояние пояснично-крестцового отдела позвоночника за счет изменений фронтальных и сагиттальных позвоночно-тазовых соотношений [11, 19–21]. Кроме того, ряд авторов утверждает, что изменения со стороны тазовых индексов с течением времени ведут к трансформации сагиттального профиля поясничного отдела позвоночника. Это приводит к изменению биомеханических соотношений в позвоночно-двигательных сегментах и, соответственно, к увеличению нагрузки либо на переднюю, либо на заднюю колонну позвоночного столба, что способствует возникновению и прогрессированию дегенеративно-дистрофических процессов уже в молодом возрасте [10, 22].

В настоящее время опубликовано несколько работ, посвященных оценке состояния позвоночно-тазовых соотношений у детей с различной ортопедической патологией

[11, 21, 23, 24]. Однако отсутствуют статьи, в которых рассматривается состояние позвоночно-тазовых соотношений у детей с ЮЭГБК.

Настоящее исследование проведено у детей с ЮЭГБК в стадии текущего процесса с верифицированной деформацией бедренного компонента одного из тазобедренных суставов, обусловленной смещением эпифиза кзади более  $60^\circ$  в сочетании со смещением книзу более  $10^\circ$ . Отсутствие аналогичных отечественных и зарубежных исследований исключает возможность проведения сравнительного анализа полученных данных. Исходя из результатов исследования можно сказать, что для данной категории пациентов характерна ретроверзия таза, которая приводит к уплощению пояснично-крестцового отдела позвоночника и положительному дисбалансу туловища. Изменения пространственного положения таза в виде его ретроверзии способствуют формированию гиполордотического типа вертикальной осанки по P. Roussouly [25]. Патологическое анатомо-биомеханическое позвоночно-тазовое взаимоотношение может вызывать развитие дегенеративно-дистрофических процессов пояснично-крестцового отдела позвоночника, дископатии в области грудопоясничного перехода, приводящей к формированию листеза в этой зоне [26, 27].

#### Ограничение исследования

Настоящее исследование имеет ряд ограничений, в частности, достаточно малую когорту пациентов, что обусловлено невысокой частотой встречаемости рассматриваемой тяжелой формы ЮЭГБК, а также отсутствием тематических публикаций. Необходимо продолжить изучение как исходного состояния позвоночно-тазового комплекса у данной категории пациентов, так и после реконструктивно-восстановительных вмешательств на пораженном суставе.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У детей, страдающих тяжелой формой ЮЭГБК, характеризующейся смещением эпифиза кзади более  $60^\circ$  в сочетании со смещением книзу не более  $10^\circ$  в одном из суставов и отсутствием смещения (стадия предскользывания) в другом, часто выявляют ретроверзию таза, что выражается в уменьшении угла наклона крестца (SS) и увеличении угла отклонения таза (PT) в сочетании с уменьшением показателей лордоза поясничного отдела позвоночника, увеличением показателей кифоза грудного отдела позвоночника, а также положительным

дисбалансом туловища. Кроме того, у этих пациентов отмечается перекокс таза в сторону пораженной конечности. Совокупность данных изменений у детей с рассматриваемой патологией соответствует I (гиполордотическому) типу вертикальной осанки по P. Roussouly и может способствовать развитию дегенеративно-дистрофических процессов в поясничном отделе позвоночника. При планировании и проведении реконструктивно-восстановительных вмешательств на пораженном тазобедренном суставе по поводу выраженной деформации бедренного компонента последнего у пациентов с ЮЭГБК необходимо учитывать патологические изменения позвоночно-тазового комплекса с целью восстановления правильных позвоночно-тазовых соотношений и профилактики развития дегенеративно-дистрофических процессов в пояснично-крестцовом отделе позвоночника.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Источник финансирования.** Исследование проведено в рамках Государственного задания Минздрава России (НИР № 121031700122-6).

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явного и потенциального конфликта интересов, связанного с публикацией настоящей статьи.

**Этическая экспертиза.** Исследование выполнено в соответствии с этическими стандартами Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации с поправками Минздрава России, одобрено этическим комитетом ФГБУ «НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Минздрава России (протокол № 22-5 от 15.09.2022). Пациенты и их законные представители дали согласие на участие в исследовании и публикации персональных данных.

**Вклад авторов.** Д.Б. Барсуков — формулировка цели и разработка дизайна исследования. Написание нескольких разделов статьи. Сбор и анализ данных, анализ литературы, хирургическое лечение пациентов. П.И. Бортулёв — формулировка цели и разработка дизайна исследования. Написание нескольких разделов статьи. Этапное и заключительное редактирование текста статьи. Сбор и анализ данных, анализ литературы, хирургическое лечение пациентов. С.В. Виссарионов — формулировка цели и разработка методологии исследования. Заключительное редактирование текста статьи. И.Ю. Поздникин — сбор данных, хирургическое лечение пациентов. Т.В. Баскаева — сбор данных, хирургическое лечение пациентов.

Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Abraham E., Gonzalez M.H., Pratap S., et al. Clinical implications of anatomical wear characteristics in slipped capital femoral epiphysis and primary osteoarthritis // J. Pediatr. Orthop. 2007. Vol. 27. No. 7. P. 788–795. DOI: 10.1097/BPO.0b013e3181558c94
2. Mamisich T.C., Kim Y.J., Richolt J.A., et al. Femoral morphology due to impingement influences the range of motion in slipped capital femoral epiphysis // Clin. Orthop. Relat. Res. 2009. Vol. 467. No. 3. P. 692–698. DOI: 10.1007/s11999-008-0477-z
3. Ziebarth K., Leunig M., Slongo T., et al. Slipped capital femoral epiphysis: relevant pathophysiological findings with open surgery // Clin. Orthop. Relat. Res. 2013. Vol. 471. No. 7. P. 2156–2162. DOI: 10.1007/s11999-013-2818-9

4. Bellemore J.M., Carpenter E.C., Yu N.Y., et al. Biomechanics of slipped capital femoral epiphysis: evaluation of the posterior sloping angle // *J. Pediatr. Orthop.* 2016. Vol. 36. No. 6. P. 651–655. DOI: 10.1097/BPO.0000000000000512
5. Sonnega R.J., van der Sluijs J.A., Wainwright A.M., et al. Management of slipped capital femoral epiphysis: results of a survey of the members of the European Paediatric Orthopaedic Society // *J. Child Orthop.* 2011. Vol. 5. No. 6. P. 433–438. DOI: 10.1007/s11832-011-0375-x
6. Vaz G., Roussouly P., Berthoulaud E., et al. Sagittal morphology and equilibrium of pelvis and spine // *Eur. Spine J.* 2002. Vol. 11. No. 1. P. 80–87. DOI: 10.1007/s005860000224
7. Shefi S., Soudack M., Konen E., et al. Development of the lumbar lordotic curvature in children from age 2 to 20 years // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2013. Vol. 38. No. 10. P. E602–E608. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31828b666b
8. Hasegawa K., Okamoto M. Normative values of spino-pelvic sagittal alignment, balance, age and health-related quality of life in a cohort of healthy adult subjects // *Eur. Spine J.* 2016. Vol. 25. P. 3675–3686. DOI: 10.1007/s00586-016-4702-2
9. Mac-Thiong J.M., Roussouly P., Berthoulaud E., et al. Age- and sex-related variations in sagittal sacropelvic morphology and balance in asymptomatic adults // *Eur. Spine J.* 2011. Vol. 20. Suppl. 5. P. 572–577. DOI: 10.1007/s00586-011-1923-2
10. Roussouly P., Pinheiro-Franco J.L. Biomechanical analysis of the spino-pelvic organization and adaptation in pathology // *Eur. Spine J.* 2011. Vol. 20. Suppl. 5. P. 609–618. DOI: 10.1007/s00586-011-1928-x
11. Бортулёв П.И., Виссарионов С.В., Басков В.Е., и др. Клинико-рентгенологические показатели позвоночно-тазовых соотношений у детей с диспластическим подвывихом бедра // *Травматология и ортопедия России*. 2018. Т. 24. № 3. С. 74–82.
12. Виссарионов С.В., Кокушин Д.Н., Картавенко К.А., и др. Хирургическое лечение детей с врожденной деформацией поясничного и пояснично-крестцового отделов позвоночника // *Хирургия позвоночника*. 2012. № 3. С. 33–37.
13. Продан А.И., Радченко В.А., Хвисько А.Н., и др. Закономерности формирования вертикальной осанки и параметров сагиттального позвоночно-тазового баланса у пациентов с хронической люмбагией и люмбоишалгией // *Хирургия позвоночника*. 2006. № 4. С. 61–69.
14. Murray K.J., Le Grande M.R., Ortega de Mues A., et al. Characterisation of the correlation between standing lordosis and degenerative joint disease in the lower lumbar spine in women and men: a radiographic study // *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2017. Vol. 18. No. 330. DOI: 10.1186/s12891-017-1696-9
15. Fukushima K., Miyagi M., Inoue G., et al. Relationship between spinal sagittal alignment and acetabular coverage: a patient-matched control study // *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 2018. Vol. 138. P. 1495–1499. DOI: 10.1007/s00402-018-2992-z
16. Аверкиев В.А., Кудяшев А.Л., Артюх В.А., и др. Особенности сагиттальных позвоночно-тазовых взаимоотношений у пациентов с коксовертебральным синдромом // *Хирургия позвоночника*. 2012. № 4. С. 49–54.
17. Кречмар А.Н. Юношеский эпифизеолиз головки бедра (клинико-экспериментальное исследование): дис. ... д-р мед. наук. Ленинград, 1982.
18. Hesarikia H., Rahimnia A. Differences between male and female sagittal spinopelvic parameters and alignment in asymptomatic pediatric and young adults // *Minerva Ortopedica e traumatologica* 2018. Vol. 69. No. 2. P. 44–48. DOI: 10.23736/S0394-3410.18.03867-5
19. Бортулёв П.И., Виссарионов С.В., Барсуков Д.Б., и др. Оценка рентгенологических показателей позвоночно-тазового комплекса у детей с подвывихом бедра при болезни Легга – Кальве – Пертеса // *Травматология и ортопедия России*. 2021. Вып. 27. № 3. С. 19–28. DOI: 10.21823/2311-2905-2021-27-3-19-28
20. Fukushima K., Miyagi M., Inoue G., et al. Relationship between spinal sagittal alignment and acetabular coverage: a patient-matched control study // *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 2018. Vol. 138. P. 1495–1499. DOI: 10.1007/s00402-018-2992-z
21. Бортулёв П.И., Виссарионов С.В., Басков В.Е., и др. Оценка состояния позвоночно-тазовых соотношений у детей с двусторонним высоким стоянием большого вертела // *Современные проблемы науки и образования*. 2020. № 1. С. 66.
22. Le Huec J.C., Rossouly P. Sagittal spino-pelvic balance is a crucial analysis for normal and degenerative spine // *Eur. Spine J.* 2011. Vol. 20. No. 5. P. 556–557. DOI: 10.1007/s00586-011-1943-y
23. Abelin K., Vialle R., Lenoir T., et al. The sagittal balance of the spine in children and adolescents with osteogenesis imperfecta // *Eur. Spine J.* 2008. Vol. 17. No. 12. P. 1697–1704. DOI: 10.1007/s00586-008-0793-8
24. Прудникова О.Г., Аранович А.М. Клинико-рентгенологические аспекты сагиттального баланса позвоночника у детей с ахондроплазией // *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2018. Т. 6. № 4. С. 6–12.
25. Roussouly P., Berthoulaud E., Dimnet J. Geometrical and mechanical analysis of lumbar lordosis in an asymptomatic population: proposed classification // *Rev. Chir. Orthop. Reparatrice Appar. Mot.* 2003. Vol. 89. No. 7. P. 632–639.
26. Jackson R., Phipps T., Hales C., et al. Pelvic lordosis and alignment in spondylolisthesis // *Spine*. 2003. Vol. 28. No. 2. P. 151–160. DOI: 10.1097/00007632-200301150-00011
27. Sorensen C.J., Norton B.J., Callaghan J.P., et al. Is lumbar lordosis related to low back pain development during prolonged standing? // *Man Ther.* 2015. Vol. 20. No. 4. P. 553–557. DOI: 10.1016/j.math.2015.01.001

## REFERENCES

1. Abraham E, Gonzalez MH, Pratap S, et al. Clinical implications of anatomical wear characteristics in slipped capital femoral epiphysis and primary osteoarthritis. *J Pediatr Orthop.* 2007;27(7):788–795. DOI: 10.1097/BPO.0b013e3181558c94
2. Mamisch TC, Kim YJ, Richolt JA, et al. Femoral morphology due to impingement influences the range of motion in slipped capital femoral epiphysis. *Clin Orthop Relat Res.* 2009;467(3):692–698. DOI: 10.1007/s11999-008-0477-z
3. Ziebarth K, Leunig M, Slongo T, et al. Slipped capital femoral epiphysis: relevant pathophysiological findings with open surgery. *Clin Orthop Relat Res.* 2013;471(7):2156–2162. DOI: 10.1007/s11999-013-2818-9
4. Bellemore JM, Carpenter EC, Yu NY, et al. Biomechanics of slipped capital femoral epiphysis: evaluation of the posterior sloping angle. *J Pediatr Orthop.* 2016;36(6):651–655. DOI: 10.1097/BPO.0000000000000512

5. Sonnega RJ, van der Sluijs JA, Wainwright AM, et al. Management of slipped capital femoral epiphysis: results of a survey of the members of the European Paediatric Orthopaedic Society. *J Child Orthop*. 2011;5(6):433–438. DOI: 10.1007/s11832-011-0375-x
6. Vaz G, Roussouly P, Berthoulaud E, et al. Sagittal morphology and equilibrium of pelvis and spine. *Eur Spine J*. 2002;11(1):80–87. DOI: 10.1007/s005860000224
7. Shefi S, Soudack M, Konen E, et al. Development of the lumbar lordotic curvature in children from age 2 to 20 years. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2013;38(10):E602–E608. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31828b666b
8. Hasegawa K, Okamoto M. Normative values of spino-pelvic sagittal alignment, balance, age and health-related quality of life in a cohort of healthy adult subjects. *Eur Spine J*. 2016;25:3675–3686. DOI: 10.1007/s00586-016-4702-2
9. Mac-Thiong JM, Roussouly P, Berthoulaud E, et al. Age- and sex-related variations in sagittal sacropelvic morphology and balance in asymptomatic adults. *Eur Spine J*. 2011;20(Suppl 5):572–577. DOI: 10.1007/s00586-011-1923-2
10. Roussouly P, Pinheiro-Franco JL. Biomechanical analysis of the spino-pelvic organization and adaptation in pathology. *Eur Spine J*. 2011;20(Suppl 5):609–618. DOI: 10.1007/s00586-011-1928-x
11. Bortulev PI, Vissarionov SV, Baskov VE et al. Clinical and roentgenological criteria of spine-pelvis ratios in children with dysplastic femur subluxation. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2018;24(3):74–82. (In Russ.). DOI: 10.21823/2311-2905-2018-24-3-74-82
12. Vissarionov SV, Kokushin DN, Kartavenko KA, et al. Surgical treatment of children with congenital deformity of the lumbar and lumbosacral spine. *Khirurgiya pozvonochnika*. 2012;3:33–37. (In Russ.)
13. Prodan AI, Radchenko VA, Khvisyuk AN, et al. Mechanism of vertical posture formation and parameters of sagittal spinopelvic balance in patients with chronic low back pain and sciatica. *Khirurgiya pozvonochnika*. 2006;(4):61–69. (In Russ.)
14. Murray KJ, Le Grande MR, Ortega de Mues A, et al. Characterisation of the correlation between standing lordosis and degenerative joint disease in the lower lumbar spine in women and men: a radiographic study. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2017;18:330. DOI: 10.1186/s12891-017-1696-9
15. Fukushima K, Miyagi M, Inoue G, et al. Relationship between spinal sagittal alignment and acetabular coverage: a patient-matched control study. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2018;138:1495–1499. DOI: 10.1007/s00402-018-2992-z
16. Averkiev VA, Kudyashev AL, Artyukh VA, et al. Features of spino-pelvic realtions in patients with hip-spine syndrome. *Khirurgiya pozvonochnika*. 2012;(4):49–54. (In Russ.)
17. Krechmar AN. Slipped capital femoral epiphysis (clinic-experimental study) [dissertation]. Leningrad; 1982. (In Russ.)
18. Hesarikia H, Rahimnia A. Differences between male and female sagittal spinopelvic parameters and alignment in asymptomatic pediatric and young adults. *Minerva Ortopedica e traumatologica*. 2018;69(2):44–48. DOI: 10.23736/S0394-3410.18.03867-5
19. Bortulev PI, Vissarionov SV, Barsukov DB, et al. Evaluation of radiological parameters of the spino-pelvic complex in children with hip subluxation in Legg-Calve-Perthes disease. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2021;27(3):19–28. (In Russ.). DOI: 10.21823/2311-2905-2021-27-3-19-28
20. Fukushima K, Miyagi M, Inoue G, et al. Relationship between spinal sagittal alignment and acetabular coverage: a patient-matched control study. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2018;138:1495–1499. DOI: 10.1007/s00402-018-2992-z
21. Bortulev PI, Vissarionov SV, Baskov VE, et al. Ocenka sostoyaniya pozvonochno-tazovyh sootnoshenij u detej s dvustoronnim vysokim stoyaniem bol'shogo vertela. *Sovremennye problem nauki i obrazovaniya*. 2020;(1):66. (In Russ.)
22. Le Huec JC, Rossouly P. Sagittal spino-pelvic balance is a crucial analysis for normal and degenerative spine. *Eur Spine J*. 2011;20(5):556–557. DOI: 10.1007/s00586-011-1943-y
23. Abelin K, Vialle R, Lenoir T, et al. The sagittal balance of the spine in children and adolescents with osteogenesis imperfecta. *Eur Spine J*. 2008;17(12):1697–1704. DOI: 10.1007/s00586-008-0793-8
24. Prudnikova OG, Aranovich AM. Clinical and radiological aspects of the sagittal balance of the spine in children with achondroplasia. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2018;(6):6–12. (In Russ.). DOI: 10.17816/PTORS646-12
25. Roussouly P, Berthoulaud E, Dimnet J. Geometrical and mechanical analysis of lumbar lordosis in an asymptomatic population: proposed classification. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. 2003;89(7):632–639.
26. Jackson R, Phipps T, Hales C, et al. Pelvic lordosis and alignment in spondylolisthesis. *Spine*. 2003;28(2):151–160. DOI: 10.1097/00007632-200301150-00011
27. Sorensen CJ, Norton BJ, Callaghan JP, et al. Is lumbar lordosis related to low back pain development during prolonged standing? *Man Ther*. 2015;20(4):553–557. DOI: 10.1016/j.math.2015.01.001

## ОБ АВТОРАХ

\* **Дмитрий Борисович Барсуков**, канд. мед. наук;  
адрес: Россия, 196603, Санкт-Петербург, Пушкин,  
ул. Парковая, д. 64–68;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9084-5634>;  
eLibrary SPIN: 2454-6548; e-mail: [dbbarsukov@gmail.com](mailto:dbbarsukov@gmail.com)

**Павел Игоревич Бортулёв**, канд. мед. наук;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4931-2817>;  
Scopus Author ID: 57193258940;  
eLibrary SPIN: 9903-6861; e-mail: [pavel.bortulev@yandex.ru](mailto:pavel.bortulev@yandex.ru)

## AUTHOR INFORMATION

\* **Dmitriy B. Barsukov**, MD, PhD, Cand. Sci. (Med.);  
address: 64–68 Parkovaya str., Pushkin, Saint Petersburg,  
196603, Russia;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9084-5634>;  
eLibrary SPIN: 2454-6548; e-mail: [dbbarsukov@gmail.com](mailto:dbbarsukov@gmail.com)

**Pavel I. Bortulev**, MD, PhD, Cand. Sci. (Med.);  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4931-2817>;  
Scopus Author ID: 57193258940;  
eLibrary SPIN: 9903-6861; e-mail: [pavel.bortulev@yandex.ru](mailto:pavel.bortulev@yandex.ru)

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

## ОБ АВТОРАХ

**Сергей Валентинович Виссарионов**, д-р мед. наук,  
профессор, чл.-корр. РАН;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4235-5048>;  
ResearcherID: P-8596-2015; Scopus Author ID: 6504128319;  
eLibrary SPIN: 7125-4930; e-mail: [vissarionovs@gmail.com](mailto:vissarionovs@gmail.com)

**Иван Юрьевич Поздникин**, канд. мед. наук;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7026-1586>;  
eLibrary SPIN: 3744-8613;  
e-mail: [pozdnikin@gmail.com](mailto:pozdnikin@gmail.com)

**Тамила Владимировна Баскаева**,  
врач — травматолог-ортопед;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9865-2434>;  
eLibrary SPIN: 5487-4230;  
e-mail: [tamila-baskaeva@mail.ru](mailto:tamila-baskaeva@mail.ru)

## AUTHOR INFORMATION

**Sergei V. Vissarionov**, MD, PhD, Dr. Sci. (Med.),  
Professor, Corresponding Member of RAS;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4235-5048>;  
ResearcherID: P-8596-2015; Scopus Author ID: 6504128319;  
eLibrary SPIN: 7125-4930; e-mail: [vissarionovs@gmail.com](mailto:vissarionovs@gmail.com)

**Ivan Yu. Pozdnikin**, MD, PhD, Cand. Sci. (Med.);  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7026-1586>;  
eLibrary SPIN: 3744-8613;  
e-mail: [pozdnikin@gmail.com](mailto:pozdnikin@gmail.com)

**Tamila V. Baskaeva**, MD,  
orthopedic and trauma surgeon;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9865-2434>;  
eLibrary SPIN: 5487-4230;  
e-mail: [tamila-baskaeva@mail.ru](mailto:tamila-baskaeva@mail.ru)