

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto105177>

# Сравнительная характеристика параметров сагиттального баланса у детей в норме и со спондилолистезом

А.А. Кулешов<sup>1</sup>, М.С. Ветрилэ<sup>1</sup>, В.Р. Захарин<sup>1</sup>, А.В. Овсянкин<sup>2</sup>, Е.С. Кузьминова<sup>2</sup>,  
И.Н. Лисянский<sup>1</sup>, С.Н. Макаров<sup>1</sup>, Ю.В. Струнина<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова, Москва, Россия;

<sup>2</sup> Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования, г. Смоленск, Россия;

<sup>3</sup> Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко, Москва, Россия

## АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** Расчет сагиттальных параметров является неотъемлемой частью предоперационного планирования, а также широко используется для оценки результатов хирургического лечения. Известно, что при спондилолистезе (особенно высоких степеней) сагиттальные параметры позвоночника отличаются от таковых у здоровых людей. Также доказано различие позвоночно-тазовых параметров у детей и взрослых без ортопедической патологии. Одна из задач оперативного лечения спондилолистеза — восстановление сагиттального баланса или максимальное его приближение к нормальным значениям. Однако на сегодняшний день отсутствует единая норма сагиттальных параметров для детей, следовательно, вопрос об оптимальной тактике хирургического лечения спондилолистеза у детей остается открытым.

**Цель.** Определить параметры сагиттального баланса у детей и подростков со здоровым позвоночником и со спондилолистезом.

**Материалы и методы.** Проведен ретроспективный анализ постуральных рентгенограмм 68 детей и подростков. Пациенты разделены на 2 группы: группа 1 — 43 пациента от 8 до 17 лет без патологии позвоночника. Пациенты данной группы были разделены по полу (26 девочек, 17 мальчиков) и возрасту (8–12 лет — 25 человек; 13–17 лет — 18 человек). Группа 2 — 25 пациентов со спондилолистезом от 8 до 17 лет. Пациенты данной группы также были разделены по полу (8 мальчиков, 17 девочек) и возрасту (8–12 лет — 7 человек; 13–17 лет — 18 человек). Для каждого пациента были рассчитаны основные позвоночно-тазовые параметры (PI, PT, SS, LL, TK, PI-LL) и проведен статистический анализ данных.

**Результаты.** Основные параметры сагиттального баланса (PI, PT, SS, LL, TK, PI-LL) у детей и взрослых без патологических деформаций позвоночного столба статистически достоверно отличаются. При тяжелых степенях спондилолистеза достоверно уменьшаются параметры грудного кифоза и поясничного лордоза, что следует оценивать, как компенсаторный механизм для сохранения вертикального положения туловища. Для детей со спондилолистезом характерно достоверно большее значение PI.

**Заключение.** Позвоночно-тазовые параметры у детей отличаются от аналогичных параметров у взрослых, следовательно, для правильного предоперационного планирования необходимо установить норму сагиттальных параметров для детей. Необходимо также учитывать высокое значение PI у детей и подростков со спондилолистезом, которое может являться этиологическим фактором данного заболевания. Причиной сагиттального дисбаланса могут являться не только высокие степени спондилолистеза, но и синдром пояснично-бедерной ригидности.

**Ключевые слова:** дети и подростки; спондилолистез; норма сагиттальных параметров; синдром пояснично-бедерной ригидности.

## Как цитировать:

Кулешов А.А., Ветрилэ М.С., Захарин В.Р., Овсянкин А.В., Кузьминова Е.С., Лисянский И.Н., Макаров С.Н., Струнина Ю.В. Сравнительная характеристика параметров сагиттального баланса у детей в норме и со спондилолистезом // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2022. Т. 29, № 1. С. 25–33. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto105177>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto105177>

# Comparative characteristics of sagittal balance in normal children and with spondylolisthesis

Alexander A. Kuleshov<sup>1</sup>, Marchel S. Vetrile<sup>1</sup>, Vitaly R. Zakharin<sup>1</sup>, Anatoliy V. Ovsyankin<sup>2</sup>, Elena S. Kuzminova<sup>2</sup>, Igor N. Lisyansky<sup>1</sup>, Sergey N. Makarov<sup>1</sup>, Uliya V. Strunina<sup>3</sup>

<sup>1</sup> N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia;

<sup>2</sup> Federal Center of Traumatology, Orthopedics and Joint Replacement, Smolensk, Russia;

<sup>3</sup> Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery, Moscow, Russia

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** The measurement of sagittal parameters is an important part of preoperative planning and is also used to evaluate the results of surgical treatment. It is known that in spondylolisthesis (especially at high degrees) the sagittal parameters of the spine differ from those in healthy people. The difference in spinal-pelvic parameters in children and adults without orthopedic pathology has also been proven. One of the tasks of surgical treatment of spondylolisthesis is the restoration of sagittal balance or its maximum approximation to normal values. However, today there is no single accepted norm of sagittal parameters for children, therefore, the question of the optimal tactics of surgical treatment of spondylolisthesis in children remains open.

**AIM:** To determine the parameters of the sagittal balance in normal children and in children with spondylolisthesis.

**MATERIAL AND METHODS:** A retrospective analysis of postural radiographs of 68 children was performed. Patients were divided into 2 groups: group I — 43 patients from 8 to 17 years old without spinal pathology. Group II — 25 patients with spondylolisthesis from 8 to 17 years old. For each patient, the main spinal and pelvic parameters (PT; PI; SS; LL; PI-LL; TK) were measured and statistical analysis of the data was performed.

**RESULTS:** The study proved that the main parameters of the sagittal balance (PI, PT, SS, LL, TK, PI-LL) in children and adults without pathological deformities of the spinal column are statistically significantly different. Also, there are statistically significant differences between the parameters of the sagittal balance in children and adolescents without spinal pathology and with spondylolisthesis (PI, PT, SS, LL, TK, SFD, PI-LL). In patients with high grade spondylolisthesis, the parameters of thoracic kyphosis and lumbar lordosis are significantly reduced, which should be assessed as a compensatory mechanism for maintaining the vertical position of the body. Children with spondylolisthesis are characterized by a significantly higher PI value.

**CONCLUSION:** The sagittal parameters of the spine in children and adults are different, therefore, for correct preoperative planning, it is necessary to establish the norm of sagittal parameters for children. It is also necessary to take into account the high value of PI in children and adolescents with spondylolisthesis, which may be the etiological factor of this disease. The existing formulas for measuring sagittal balance for children with spondylolisthesis should be used with caution, because a high PI can lead to unreliable theoretical values of PT, SS, LL and TK. The cause of sagittal imbalance can be not only high degrees of spondylolisthesis, but also the tight hamstrings.

**Keywords:** children and adolescents; spondylolisthesis; normal sagittal parameters; tight hamstrings.

## To cite this article:

Kuleshov AA, Vetrile MS, Zakharin VR, Ovsyankin AV, Kuzminova ES, Lisyansky IN, Makarov SN, Strunina UV. Comparative characteristics of sagittal balance in normal children and with spondylolisthesis. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2021;29(1):25–33. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto105177>

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Расчет сагиттальных параметров является неотъемлемой частью предоперационного планирования и используется для оценки результатов хирургического лечения. При спондилолистезе, особенно при его высоких степенях, сагиттальные параметры позвоночника отличаются от параметров здоровых людей [1]. Также доказано различие позвоночно-тазовых параметров у детей и взрослых, не имеющих ортопедической патологии [2]. Следовательно, для правильного предоперационного планирования необходимо знать норму сагиттальных параметров у детей. На сегодняшний день в мировой литературе существуют лишь единичные работы, посвященные норме сагиттального баланса у детей и подростков [2–8]. В ряде случаев нарушение сагиттального баланса развивается вследствие неврологических расстройств, болевого синдрома, синдрома пояснично-бедерной ригидности. Необходимость восстановления сагиттального профиля в результате оперативного лечения спондилолистеза очевидна, однако вопрос об оптимальной степени восстановления и целевых показателях сагиттальных параметров у детей остается открытым.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено ретроспективное исследование, в которое были включены 68 детей и подростков в возрасте от 8 до 17 лет. Все пациенты были разделены на 2 группы.

Группа 1 — 43 пациента без патологии опорно-двигательного аппарата. В данную группу вошли пациенты, обратившиеся на амбулаторный прием в ФГБУ «ФЦТОЗ» Минздрава России (г. Смоленск) с жалобами на боли в спине и/или нарушение осанки. С целью исключения патологии опорно-двигательного аппарата данным пациентам были выполнены постуральные рентгенограммы. Критерием включения в группу являлось отсутствие деформаций позвоночника (сколиотических, кифотических, посттравматических, спондилолистеза) и другой ортопедической патологии.

Группа 2 — 25 пациентов, поступивших в ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» Минздрава России с диагнозом «спондилолистез L5 позвонка» для оперативного лечения. Критерием включения в данную группу являлось наличие спондилолистеза 5-го поясничного позвонка и отсутствие другой ортопедической патологии.

Всем включенным в исследование пациентам была выполнена постуральная рентгенография. Для минимизации изменения в сагиттальном контуре позвоночника и предотвращения компенсаторного изменения осанки исследование проводилось по стандарту, предложенному Группой по изучению деформаций позвоночника (Spinal Deformity Study Group, SDSG) [9]: пациент находится в положении стоя, коленные и тазобедренные суставы в нейтральном, удобном для пациента положении. Руки согнуты в плечевых и локтевых суставах с расположением пальцев в области ключиц. Если имеется укорочение нижней конечности более 2 см, рентгеновский снимок выполняют с компенсацией для выравнивания таза.

По данным постуральной рентгенографии в боковой проекции всем пациентам проводили рентгенометрические расчеты следующих параметров: наклон таза (pelvic tilt, PT); тазовый индекс (pelvic incidence, PI); наклон крестца (sacral slope, SS); поясничный лордоз (lumbar lordosis, LL); разница между значениями показателей тазового индекса и поясничного лордоза (PI-LL); грудной кифоз (thoracic kyphosis, TK).

С помощью языка статистического программирования и среды R (версия 3.6.1) в IDE RStudio (версия 1.2.1335) проведен статистический анализ данных. Распределение непрерывных и дискретных количественных переменных в выборке описывали с помощью средних значений, стандартного отклонения, медианы и квартилей, категориальных величин (указаны в долях-процентах). Тестирование статистических гипотез о различии в распределении количественных переменных в независимых выборках проводили с помощью непараметрического критерия Манна–Уитни. Нулевую гипотезу в статистических тестах отклоняли при уровне значимости  $p < 0,05$ .

Учитывая, что по данным литературы статистически значимых различий сагиттальных параметров между девочками и мальчиками нет [2], при проведении статистического анализа данных деление по полу не производилось.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Для всех пациентов 1-й группы — дети и подростки от 8 до 17 (средний возраст 12 лет) без ортопедической патологии ( $n=43$ ) были определены и описаны с помощью медианы и квартилей средние значения по каждому параметру (табл. 1).

Таблица 1. Средние значения основных позвоночно-тазовых параметров у детей без ортопедической патологии (в градусах)

Table 1. Mean values of the main spinal and pelvic parameters in children without orthopedic pathology (in degrees)

Параметр	PI	SS	PT	LL	TK	PI-LL
Значение	40,7 [34,40; 45,15]	35,8 [30,75; 39,30]	5,2 [1,75; 10,25]	50,2 [44,15; 57,45]	33,5 [26,50; 40,45]	-11,10 [-18,40; -4,40]

Примечание: PI — тазовый индекс; SS — наклон крестца; PT — наклон таза; LL — поясничный лордоз; TK — грудной кифоз; PI-LL — разница между значениями показателей тазового индекса и поясничного лордоза.

Footnote: PI — pelvic incidence; SS — sacral slope; PT — pelvic tilt; LL — lumbar lordosis; TK — thoracic kyphosis; PI-LL — the difference between the values of the pelvic index and lumbar lordosis.

По возрасту пациентов распределили в соответствии с группами, предложенными Всемирной организацией здравоохранения в педиатрии: 8–12 лет — 25 человек; 13–17 лет — 18 человек. Полученные нами параметры приняты за условную норму для детей и сопоставлены с нормальными параметрами для взрослых, которые были предложены в работе F. Schwab и соавт. [10] (табл. 2). При сопоставлении выявлено, что основные параметры сагиттального баланса у детей и взрослых без патологических деформаций позвоночного столба отличаются. У детей определяются меньшие средние значения по показателям PI, PT, TK, PI-LL. Показатели LL и SS отличаются незначительно.

Группа 2 — 25 пациентов в возрасте от 8 до 17 лет (средний возраст — 14 лет), также разделенных по возрасту (8–12 лет — 7 человек; 13–17 лет — 18 человек). По степени смещения позвонка, согласно классификации Meyerding, пациенты распределились следующим образом: I степень — 4 пациента; II степень — 9 пациентов; III степень — 8 пациентов; IV степень — 3 пациента; V степень (спондилоптоз) — 1 пациент. Согласно классификации спондилолистеза, разработанной SDSG, пациенты распределились следующим образом: 1 тип — 1 пациент; 2 тип — 3 пациента; 3 тип — 8 пациентов; 4 тип — 1 пациент; 5 тип — 6 пациентов; 6 тип — 6 пациентов. В зависимости от типа спондилолистеза по классификации SDSG пациенты были разделены на 2 подгруппы: low grade — 12 пациентов; high grade — 13 пациентов.

Рассчитанные средние значения позвоночно-тазовых параметров для группы 2 представлены в табл. 3.

Проведено сравнение параметров сагиттального баланса у пациентов групп 1 и 2. Выявлено, что имеются статистически достоверные различия параметров сагиттального баланса у детей и подростков без патологии позвоночника и со спондилолистезом по всем параметрам, что наглядно продемонстрировано на рис. 1.

Необходимо отметить высокий PI у детей со спондилолистезом. Было проведено сравнение по показателю PI между группами норма и спондилолистез. В результате сравнения выявлено, что с возрастом значение PI достоверно увеличивается, а также то, что параметр PI у детей со спондилолистезом в среднем выше, чем у здоровых детей (табл. 4).

Проведено сравнение групп норма, спондилолистез low grade и спондилолистез high grade. Выявлено, что при high grade спондилолистезе параметр PI значительно выше, чем в группе здоровых детей. Также установлено, что показатель PI достоверно выше и в группе low grade спондилолистеза, в отличие от параметров грудного кифоза и поясничного лордоза, которые меняются при нарастании тяжести деформации (табл. 5).

*Клинический пример.* Пациентка, 13 лет. Диагноз: спондилолистез L5 позвонка II степени, SDSG 6 тип. Клинические проявления: выраженный болевой синдром в поясничном отделе с иррадиацией по задней поверхности бедра и голени с двух сторон, нарушение походки, анталгическая установка туловища с наклоном туловища кпереди; синдром пояснично-бедренной ригидности; очаговая неврологическая симптоматика отсутствовала.

**Таблица 2.** Средние значения основных позвоночно-тазовых параметров у детей (полученные в результате нашего исследования) и взрослых [10] (в градусах)

**Table 2.** Mean values of the main spinal-pelvic parameters in children (obtained as a result of our study) and adults [10] (in degrees)

Параметр	Дети	Взрослые
PI	40,7 [34,40; 45,15]	51,7
SS	35,8 [30,75; 39,30]	39,4
PT	5,2 [1,75; 10,25]	12,3
LL	50,2 [44,15; 57,45]	46,5
TK	33,5 [26,50; 40,45]	47
PI-LL	-11,10 [-18,40; -4,40]	10

*Примечание:* PI — тазовый индекс; SS — наклон крестца; PT — наклон таза; LL — поясничный лордоз; TK — грудной кифоз; PI-LL — разница между значениями показателей тазового индекса и поясничного лордоза.

*Footnote:* PI — pelvic incidence; SS — sacral slope; PT — pelvic tilt; LL — lumbar lordosis; TK — thoracic kyphosis; PI-LL — the difference between the values of the pelvic index and lumbar lordosis.

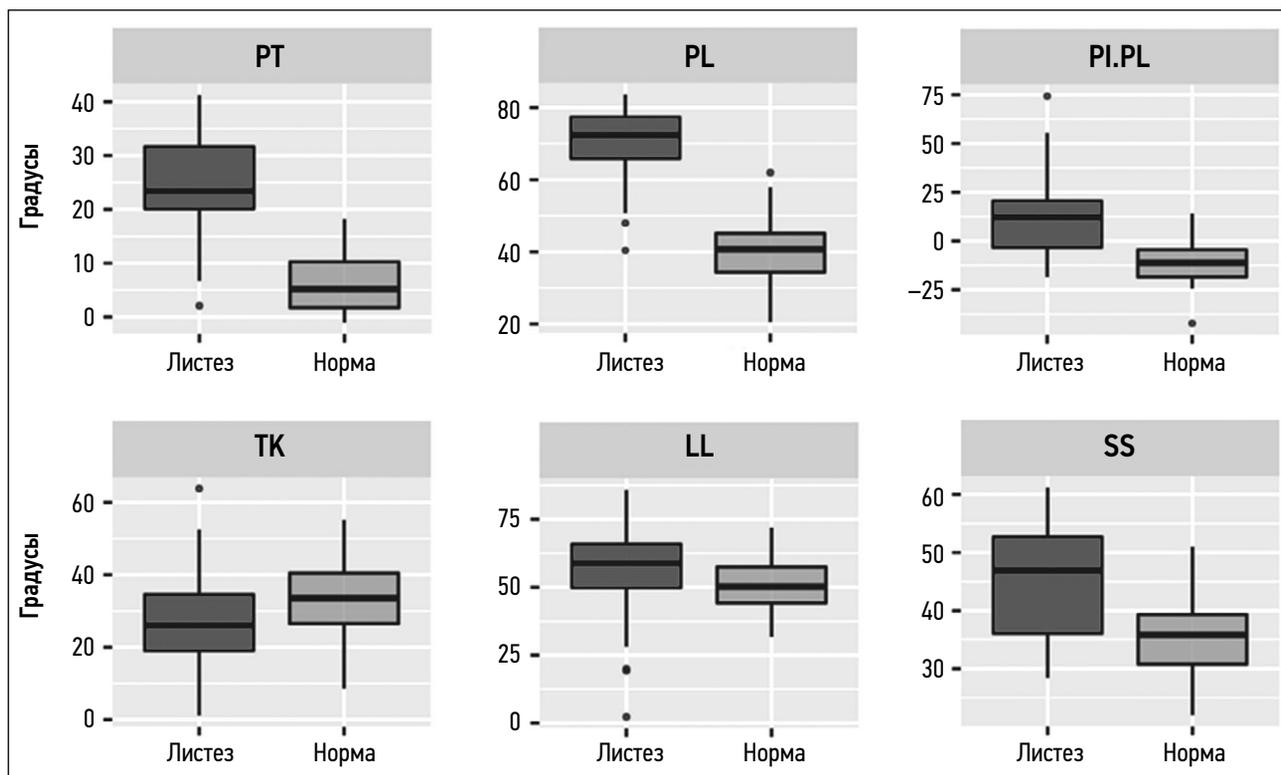
**Таблица 3.** Средние значения позвоночно-тазовых параметров у детей со спондилолистезом (в градусах)

**Table 3.** Mean values of spinal-pelvic parameters in children with spondylolisthesis (in degrees)

Параметр	PI	SS	PT	LL	TK	PI-LL
Значение	72,40 [65,90; 77,40]	46,90 [36,10; 52,70]	23,40 [20,10; 31,60]	58,80 [49,80; 65,80]	26,00 [19,00; 34, 50]	12,20 [-3,10; 20,60]

*Примечание:* PI — тазовый индекс; SS — наклон крестца; PT — наклон таза; LL — поясничный лордоз; TK — грудной кифоз; PI-LL — разница между значениями показателей тазового индекса и поясничного лордоза.

*Footnote:* PI — pelvic incidence; SS — sacral slope; PT — pelvic tilt; LL — lumbar lordosis; TK — thoracic kyphosis; PI-LL — the difference between the values of the pelvic index and lumbar lordosis.



**Рис. 1.** Сравнение средних значений по основным сагиттальным параметрам между группами здоровых детей и имеющих спондилолистез. PT — наклон таза; PI — тазовый индекс; SS — наклон крестца; LL — поясничный лордоз; ТК — грудной кифоз; PI-LL — разница между значениями показателей тазового индекса и поясничного лордоза.

**Fig. 1.** Comparison of mean values for the main sagittal parameters between groups of healthy children and those with spondylolisthesis. PT, pelvic tilt; PI, pelvic incidence; SS, sacral slope; LL, lumbar lordosis; ТК, thoracic kyphosis; PI-LL, the difference between the values of the pelvic index and lumbar lordosis.

**Таблица 4.** Распределение показателя тазового индекса (PI) в группах здоровых детей и имеющих спондилолистез в зависимости от возраста (в градусах)

**Table 4.** Distribution of the pelvic incidence (PI) in groups of healthy children and those with spondylolisthesis depending on age (in degrees)

Возраст	Норма	Спондилолистез
Группа 1 (8–12 лет)	PI=36,90 [30,50; 44,20]	PI=66,8 [64,80; 70,60]
Группа 2 (13–17 лет)	PI=42,00 [40,00; 48,00]	PI=73,70 [66,10; 78,80]
<i>p</i>	0,042	0,033

*Примечание:* Средние показатели описаны с помощью непараметрического метода медианы и квартилей. PI — тазовый индекс.

*Footnote:* Averages are described using the nonparametric median and quartile method. PI — pelvic incidence.

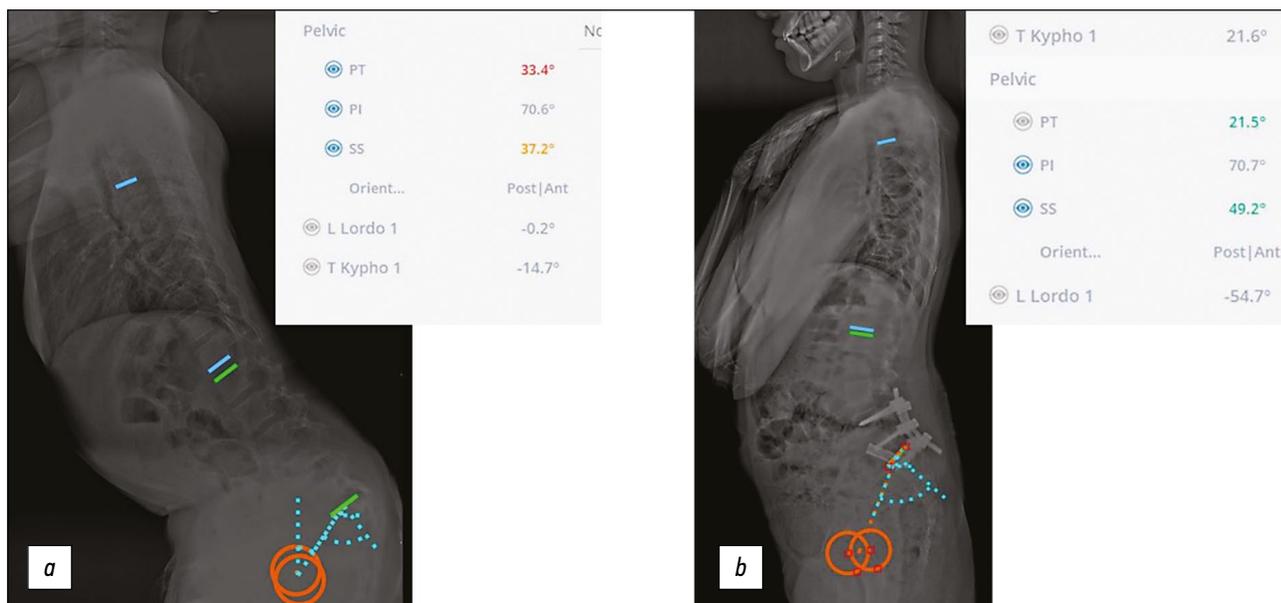
**Таблица 5.** Показатели позвоночно-тазовых взаимоотношений у детей со спондилолистезом в зависимости от степени в сравнении с условной нормой (в градусах)

**Table 5.** Indicators of spinal-pelvic relationships in children with spondylolisthesis, depending on the degree in comparison with the norm (in degrees)

Параметр	PI	SS	PT	LL	TK	PI-LL
Норма	5,20 [1,75; 10,25]	40,70 [34,40; 45,15]	35,80 [30,75; 39,30]	50,20 [44,15; 57,45]	-11,10 [-18,40; -4,40]	33,5 [26,50; 40,45]
Low grade	21,50 [7,33; 24,53]	70,80 [54,85; 78,80]	49,20 [41,57; 53,60]	60,90 [57,57; 71,40]	-2,10 [-10,18; 12,72]	30,80 [21,22; 39,22]
High grade	25,60 [22,00; 35,30]	72,40 [66,00; 76,60]	42,40 [34,90; 52,70]	49,80 [28,20; 63,60]	16,90 [6,90; 41,60]	21,70 [6,90; 31,90]
<i>p</i>	0,005	0,040	0,020	0,040	0,004	0,035

*Примечание:* PI — тазовый индекс; SS — наклон крестца; PT — наклон таза; LL — поясничный лордоз; ТК — грудной кифоз; PI-LL — разница между значениями показателей тазового индекса и поясничного лордоза.

*Footnote:* PI — pelvic incidence; SS — sacral slope; PT — pelvic tilt; LL — lumbar lordosis; ТК — thoracic kyphosis; PI-LL — the difference between the values of the pelvic index and lumbar lordosis.



**Рис. 2.** Параметры сагиттального баланса у пациентки 13 лет со спондилолистезом L5, SDSG 6 тип до (а) и после (b) оперативного лечения, а также расчет теоретических параметров поясничного лордоза (LL) и грудного кифоза (TK) на этапе предоперационного планирования. Расчетные параметры: 1)  $LL=PI \times 0,54 + 28$ ,  $LL=66,1$ ; 2)  $TK=0,75 \times LL$ ,  $TK=49,5$ .

**Fig. 2.** Sagittal balance parameters in a 13-year-old patient with spondylolisthesis L5, SDSG type 6 before (a) and after (b) surgical treatment, as well as the calculation of theoretical parameters of lumbar lordosis (LL) and thoracic kyphosis (TK) at the stage of preoperative planning. Design parameters: 1)  $LL=PI \times 0.54 + 28$ ,  $LL=66.1$ ; 2)  $TK=0.75 \times LL$ ,  $TK=49.5$ .

Исходные параметры сагиттального баланса:  $PT=33,4^\circ$ ;  $PI=70,6^\circ$ ;  $SS=37,2^\circ$ ;  $LL=-0,2^\circ$ ;  $TK=-14,7^\circ$  (см. рис. 2).

Пациентке было выполнено двухэтапное оперативное лечение. Первый этап — ламинэктомия L5 с ревизией и декомпрессией невралных структур, дорсальная фиксация L4-S1 транспедикулярной системой с редукцией L5 позвонка. Второй этап — межтеловой спондилодез L5-S1 индивидуальным кейджем из переднего внебрюшинного доступа по оригинальной методике [11]. Через 3 мес после оперативного лечения отмечается восстановление походки и вертикального положения туловища, при постуральной рентгенографии отмечена нормализация сагиттальных параметров ( $PT=21,5^\circ$ ;  $PI=70,7^\circ$ ;  $SS=49,2^\circ$ ;  $LL=54,7^\circ$ ;  $TK=21,6^\circ$ ).

## ОБСУЖДЕНИЕ

На сегодняшний день в отечественной литературе существует ряд публикаций, посвященных проблеме сагиттального баланса у детей, во всех работах исследуемая группа имеет ту или иную патологию, а полученные данные сравниваются со средними значениями для детей, предложенными зарубежными авторами. Например, в работе О.Г. Прудникова, А.М. Аранович [12] рассчитаны и проанализированы сагиттальные параметры у детей с ахондроплазией, в качестве группы сравнения взяты данные J.M. Mac-Thiong (2004) [2] для здоровых детей в возрасте  $7,3 \pm 1,8$  года. В ряде работ П.И. Бортулёва и соавт. [13, 14] проведен анализ позвоночно-тазовых взаимоотношений у детей с подвывихом бедра при болезни

Легга–Кальве–Пертеса и с диспластическим подвывихом бедра. Полученные данные были сравнены со средними показателями для детей, предложенными Н. Hesarikia и соавт. [15].

Анализ сагиттальных параметров у детей без патологии позвоночника в отечественной литературе ранее не проводился, что обусловлено этическими нормами. Однако в нашем исследовании все пациенты группы 2 обращались в клинику-диагностическое отделение с различными жалобами: боли в позвоночнике неясного генеза, а также вследствие предшествующих травм; нарушение осанки. Все рентгенографические исследования выполнялись строго по показаниям с целью исключения патологии позвоночника. Расчет эффективной дозы облучения выполнялся согласно методическим рекомендациям по обеспечению радиационной безопасности. При проведении исследования использовался высокочувствительный плоскопанельный детектор, в среднем эффективная доза облучения составляла 0,3 мЗв, что равно дозе облучения при выполнении стандартных рентгенограмм грудной клетки.

J. Legaye и соавт. (1998) [16] впервые выявили зависимость между тремя тазовыми индексами, выражающуюся в следующей формуле:  $PI=SS+PT$ . В ходе нашего исследования было установлено, что у детей со спондилолистезом средние показатели PI значительно выше, чем у детей без патологии позвоночника. Н. Labelle и соавт. [9] проанализировали рентгенограммы 214 пациентов со спондилолистезом от 10 до 40 лет. В результате анализа авторы также наблюдали более высокие

значения PI по сравнению с контрольной группой бессимптомных волонтеров. Принимая во внимание данное наблюдение, можно расценивать высокие показатели PI как этиопатогенетический фактор развития спондилолистеза.

Учитывая тот факт, что величина PI является ключевой для расчета всех остальных показателей сагиттального баланса ( $PI=SS+PT$ ;  $LL=PI\times 0,54+28$ ) [17], не во всех случаях целесообразно использование общепризнанных формул. Так, например, в ходе предоперационного планирования для пациентки, случай которой представлен в разделе «Клинический пример», были рассчитаны теоретические сагиттальные параметры: 1)  $LL=PI\times 0,54+28=66,1^\circ$ ; 2)  $TK=0,75\times LL=49,5^\circ$ . Полученные теоретические значения LL и ТК, по сути, означали гиперкифоз грудного отдела и гиперлордоз поясничного отдела. В качестве теоретических параметров были использованы средние значения для детей и подростков без патологии. В данном случае общепринятые формулы, разработанные для взрослых, оказались неприменимы по отношению к детям. Также у данной пациентки имелось грубое нарушение вертикального положения туловища с наклоном кпереди, выраженное нарушение походки, но степень спондилолистеза не была высокой (II по Meyerding). Нами был проанализирован исходный неврологический статус пациентов группы 2 с сагиттальным дисбалансом ( $n=6$ ). Все пациенты имели симптом пояснично-бедренной ригидности в сочетании с выраженным болевым синдромом, нарушением походки и/или нарушением вертикального положения туловища. Важно отметить, что только у двух пациентов имел место спондилолистез высокой степени. Всем пациентам группы 2 было выполнено двухэтапное оперативное лечение с декомпрессивной ламинэктомией и редукцией L5 позвонка. После выполнения декомпрессивно-стабилизирующих операций во всех случаях отмечался регресс неврологической симптоматики и восстановление сагиттального профиля позвоночника в течение 3 мес с момента операции.

В настоящее время механизм пояснично-бедренной ригидности до конца не изучен, тем не менее существует ряд публикаций, описывающих специфическое нарушение походки и невозможность наклона туловища вперед, выраженное ограничение подъема прямых ног у детей и подростков со спондилолистезом. Авторы связывают его с раздражением конского хвоста и отмечают

регрессию вышеуказанной симптоматики после выполнения ламинэктомии L5 позвонка [18, 19].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При хирургическом лечении спондилолистеза у детей важно учитывать параметры сагиттального баланса. Позвоночно-тазовые параметры у детей отличаются от аналогичных параметров у взрослых, следовательно, для правильного предоперационного планирования необходимо установить норму сагиттальных параметров для детей. Необходимо также учитывать высокое значение PI у детей и подростков со спондилолистезом, которое может являться этиологическим фактором данного заболевания. Применять существующие формулы расчета сагиттального баланса для детей со спондилолистезом следует с осторожностью, так как высокий PI может привести к получению недостоверных теоретических показателей PT, SS, LL и ТК. Причиной сагиттального дисбаланса могут являться не только высокие степени спондилолистеза, но и синдром пояснично-бедренной ригидности.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFO

**Вклад авторов.** Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

**Author contribution.** Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

**Источник финансирования.** Не указан.

**Funding source.** Not specified.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

**Информированное согласие на публикацию.** Авторы получили письменное согласие законных представителей пациента на публикацию медицинских данных и фотографий.

**Consent for publication.** Written consent was obtained from the patient for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Labelle H., Roussouly P., Berthonnaud E., et al. Spondylolisthesis, pelvic incidence, and spinopelvic balance: a correlation study // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2004. Vol. 29, N 18. P. 2049–2054. doi: 10.1097/01.brs.0000138279.53439.cc
2. Mac-Thiong J.M., Berthonnaud E., Dimar J.R. 2nd, et al. Sagittal alignment of the spine and pelvis during growth // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2004. Vol. 29, N 15. P. 1642–1647. doi: 10.1097/01.brs.0000132312.78469.7b
3. Mac-Thiong J.M., Labelle H., Berthonnaud E., et al. Sagittal spinopelvic balance in normal children and adolescents // *Eur Spine J*. 2007. Vol. 16, N 2. P. 227–234. doi: 10.1007/s00586-005-0013-8

4. Lee C.S., Noh H., Lee D.H., et al. Analysis of sagittal spinal alignment in 181 asymptomatic children // *J Spinal Disord Tech*. 2012. Vol. 25, N 8. P. E259–263. doi: 10.1097/BSD.0b013e318261f346
5. Gutman G., Labelle H., Barchi S., et al. Normal sagittal parameters of global spinal balance in children and adolescents: a prospective study of 646 asymptomatic subjects // *Eur Spine J*. 2016. Vol. 25, N 11. P. 3650–3657. doi: 10.1007/s00586-016-4665-3
6. Ghandhari H., Hesarikia H., Ameri E., Noori A. Assessment of normal sagittal alignment of the spine and pelvis in children and adolescents // *Biomed Res Int*. 2013. Vol. 2013. P. 842624. doi: 10.1155/2013/842624
7. Zhou X.Y., Zhao J., Li B., et al. Assessment of sagittal spinopelvic balance in a population of normal Chinese children // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2020. Vol. 45, N 13. P. E787–791. doi: 10.1097/BRS.0000000000003428
8. Cil A., Yazici M., Uzumcugil A., et al. The evolution of sagittal segmental alignment of the spine during childhood // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2005. Vol. 30, N 1. P. 93–100. doi: 10.1097/01.brs.0000149074.21550.32
9. Labelle H., Mac-Thiong J.M., Rousouly P. Spino-pelvic sagittal balance of spondylolisthesis: a review and classification // *Eur Spine J*. 2011. Vol. 20, Suppl 5. P. 641–646. doi: 10.1007/s00586-011-1932-1
10. Schwab F., Lafage V., Boyce R., et al. Gravity line analysis in adult volunteers age-related correlation with spinal parameters, pelvic parameters, and foot position // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006. Vol. 31, N 25. P. E959–967. doi: 10.1097/01.brs.0000248126.96737.0f
11. Кулешов А.А., Ветрилэ М.С., Шкарубо А.Н., и др. Аддитивные технологии в хирургии деформаций позвоночника // *Вестник травматологии и ортопедии им Н.Н. Приорова*. 2018. Т. 25, № 3–4. С. 19–29. doi: 10.17116/vto201803-04119
12. 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. doi: 10.17816/PTORS646-12
13. 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. doi: 10.21823/2311-2905-2018-24-3-74-82
14. 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. Т. 27, № 3. С. 19–28. doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-3-19-28
15. Hesarikia H., Rahimnia A., Emami Meybodi M.K. Differences between male and female sagittal spinopelvic parameters and alignment in asymptomatic pediatric and young adults // *Minerva Ortopedica e Traumatologica*. 2018. Vol. 69, N 2. P. 44–48. doi: 10.23736/S0394-3410.18.03867-5
16. Legaye J., Duval-Beaupère G., Hecquet J., Marty C. Pelvic incidence: a fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal sagittal curves // *Eur Spine J*. 1998. Vol. 7, N 2. P. 99–103. doi: 10.1007/s005860050038
17. Le Huec J.C., Thompson W., Mohsinaly Y., et al. Sagittal balance of the spine // *Eur Spine J*. 2019. Vol. 28, N 9. P. 1889–1905. doi: 10.1007/s00586-019-06083-1
18. Barash H.L., Galante J.O., Lambert C.N., Ray R.D. Spondylolisthesis and tight hamstrings // *J Bone Joint Surg Am*. 1970. Vol. 52, N 7. P. 1319–1328.
19. Phalen G.S., Dickson J.A. Spondylolisthesis and tight hamstrings // *J Bone Joint Surg Am*. 1961. Vol. 43. P. 505–512.

## REFERENCES

1. Labelle H, Rousouly P, Berthonnaud E, et al. Spondylolisthesis, pelvic incidence, and spinopelvic balance: a correlation study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2004;29(18):2049–2054. doi: 10.1097/01.brs.0000138279.53439.cc
2. Mac-Thiong JM, Berthonnaud E, Dimar JR 2nd, et al. Sagittal alignment of the spine and pelvis during growth. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2004;29(15):1642–1647. doi: 10.1097/01.brs.0000132312.78469.7b
3. Mac-Thiong JM, Labelle H, Berthonnaud E, et al. Sagittal spinopelvic balance in normal children and adolescents. *Eur Spine J*. 2007;16(2):227–234. doi: 10.1007/s00586-005-0013-8
4. Lee CS, Noh H, Lee DH, et al. Analysis of sagittal spinal alignment in 181 asymptomatic children. *J Spinal Disord Tech*. 2012;25(8):E259–263. doi: 10.1097/BSD.0b013e318261f346
5. Gutman G, Labelle H, Barchi S, et al. Normal sagittal parameters of global spinal balance in children and adolescents: a prospective study of 646 asymptomatic subjects. *Eur Spine J*. 2016;25(11):3650–3657. doi: 10.1007/s00586-016-4665-3
6. Ghandhari H, Hesarikia H, Ameri E, Noori A. Assessment of normal sagittal alignment of the spine and pelvis in children and adolescents. *Biomed Res Int*. 2013;2013:842624. doi: 10.1155/2013/842624
7. Zhou XY, Zhao J, Li B, et al. Assessment of sagittal spinopelvic balance in a population of normal Chinese children. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2020;45(13):E787–791. doi: 10.1097/BRS.0000000000003428
8. Cil A, Yazici M, Uzumcugil A, et al. The evolution of sagittal segmental alignment of the spine during childhood. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2005;30(1):93–100. doi: 10.1097/01.brs.0000149074.21550.32
9. Labelle H, Mac-Thiong JM, Rousouly P. Spino-pelvic sagittal balance of spondylolisthesis: a review and classification. *Eur Spine J*. 2011;20 (Suppl 5):641–646. doi: 10.1007/s00586-011-1932-1
10. Schwab F, Lafage V, Boyce R, et al. Gravity line analysis in adult volunteers age-related correlation with spinal parameters, pelvic parameters, and foot position. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31(25):E959–967. doi: 10.1097/01.brs.0000248126.96737.0f
11. Kuleshov AA, Vetrile MS, Shkarubo AN, et al. Additive technologies in surgical treatment of spinal deformities. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2018;25(3–4):19–29. (In Russ). doi: 10.17116/vto201803-04119
12. 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(4):6–12. (In Russ). doi: 10.17816/PTORS646-12
13. 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

14. 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

15. Hesarikia H, Rahimnia A, Emami Meybodi MK. 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

## ОБ АВТОРАХ

\***Виталий Романович Захарин**, врач — травматолог-ортопед; адрес: Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, д. 10; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1553-2782>; eLibrary SPIN: 2931-0703; e-mail: zakhvit@gmail.com

**Александр Алексеевич Кулешов**, д-р мед. наук, профессор, врач — травматолог-ортопед; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9526-8274>; eLibrary SPIN: 7052-0220; e-mail: cito-spine@mail.ru

**Марчел Степанович Ветрилэ**, канд. мед. наук, врач — травматолог-ортопед; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6689-5220>; eLibrary SPIN: 9690-5117; e-mail: vetrilams@cito-priorov.ru

**Анатолий Васильевич Овсянкин**, канд. мед. наук, врач — травматолог-ортопед; eLibrary SPIN: 4417-3617; e-mail: ovsjankin@rambler.ru

**Елена Станиславовна Кузьминова**, врач — травматолог-ортопед; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2876-6844>; eLibrary SPIN: 5992-6657; e-mail: muxuxo@gmail.com

**Игорь Николаевич Лисянский**, канд. мед. наук, врач — травматолог-ортопед; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2479-4381>; eLibrary SPIN: 9845-1251; e-mail: lisigornik@list.ru

**Сергей Николаевич Макаров**, канд. мед. наук, врач — травматолог-ортопед; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0406-1997>; eLibrary SPIN: 2767-2429; e-mail: moscow.makarov@gmail.com

**Юлия Владимировна Струнина**, ведущий инженер; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5010-6661>; eLibrary SPIN: 9799-5066; e-mail: ustrunina@nsi.ru

16. Legaye J, Duval-Beaupère G, Hecquet J, Marty C. Pelvic incidence: a fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal sagittal curves. *Eur Spine J*. 1998;7(2):99–103. doi: 10.1007/s005860050038

17. Le Huec JC, Thompson W, Mohsinaly Y, et al. Sagittal balance of the spine. *Eur Spine J*. 2019;28(9):1889–1905. doi: 10.1007/s00586-019-06083-1

18. Barash HL, Galante JO, Lambert CN, Ray RD. Spondylolisthesis and tight hamstrings. *J Bone Joint Surg Am*. 1970;52(7):1319–1328.

19. Phalen GS, Dickson JA. Spondylolisthesis and tight hamstrings. *J Bone Joint Surg Am*. 1961;43:505–512.

## AUTHORS INFO

\***Vitaly R. Zakharin**, traumatologist-orthopedist; address: 10, Priorova str., 127299, Moscow, Russia; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1553-2782>; eLibrary SPIN: 2931-0703; e-mail: zakhvit@gmail.com

**Alexander A. Kuleshov**, MD, Dr. Sci. (Med.), traumatologist-orthopedist; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9526-8274>; eLibrary SPIN: 7052-0220; e-mail: cito-spine@mail.ru

**Marchel S. Vetrile**, MD, Cand. Sci. (Med.), traumatologist-orthopedist; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6689-5220>; eLibrary SPIN: 9690-5117; e-mail: vetrilams@cito-priorov.ru

**Anatoliy V. Ovsyankin**, MD, Cand. Sci. (Med.), traumatologist-orthopedist; eLibrary SPIN: 4417-3617; e-mail: ovsjankin@rambler.ru

**Elena S. Kuzminova**, traumatologist-orthopedist; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2876-6844>; eLibrary SPIN: 5992-6657; e-mail: muxuxo@gmail.com

**Igor N. Lisyansky**, MD, Cand. Sci. (Med.), traumatologist-orthopedist; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2479-4381>; eLibrary SPIN: 9845-1251; e-mail: lisigornik@list.ru

**Sergey N. Makarov**, MD, Cand. Sci. (Med.), traumatologist-orthopedist; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0406-1997>; eLibrary SPIN: 2767-2429; e-mail: moscow.makarov@gmail.com

**Uliya V. Strunina**, leading engineer; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5010-6661>; eLibrary SPIN: 9799-5066; e-mail: ustrunina@nsi.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author