



САГИТТАЛЬНЫЙ БАЛАНС ШЕЙНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА У ДЕТЕЙ СТАРШЕ 4 ЛЕТ: ЧТО СЧИТАТЬ НОРМОЙ?

Д.А. Глухов¹, В.И. Зорин^{2,3}, Я.А. Мальцева², А.Ю. Мушкин^{1,4}

¹Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии, Санкт-Петербург, Россия

²Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии
им. Г.И. Турнера, Санкт-Петербург, Россия

³Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

⁴Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет
им. акад. И.П. Павлова, Санкт-Петербург, Россия

Цель исследования. Поиск нормальных параметров сагиттального баланса шейного отдела позвоночника у детей, анализ их динамики в разные периоды детства, а также сопоставление их с нормой, приведенной для взрослой популяции.

Материал и методы. Для оценки параметров сагиттального баланса шейного отдела позвоночника были отобраны рентгенограммы, исходно оцененные врачами-рентгенологами как вариант нормы. Конечная выборка составила 73 рентгенограммы 44 девочек и 29 мальчиков в возрасте 4–17 лет. По цифровым рентгенограммам проведена оценка 10 наиболее распространенных из представленных в публикациях показателей: угловые значения $Ос-C_2$, C_2-C_7 , C_7S , Th_1S , TIA , NT , CeT , CrT , SCA , а также измеренное в миллиметрах расстояние $cSVA$. Измерения осуществляли независимо друг от друга 3 специалиста, работающие с пациентами детского возраста: травматолог-ортопед (опыт до 5 лет), травматолог-ортопед (опыт более 15 лет), рентгенолог (опыт более 5 лет), специализирующийся на патологии скелета. Полученные результаты подвергнуты статистической обработке.

Результаты. С помощью многофакторного дисперсионного анализа наличие статистически значимого различия по возрасту выявлено только для $cSVA$, половые различия зафиксированы по 6 из 10 параметров. У большей части параметров отмечена хорошая и удовлетворительная согласованность специалистов. Очень сильная корреляция установлена между параметрами C_7S и Th_1S , что соотносится со смежным положением позвонков. Показатели C_2-C_7 и SCA имеют сильную положительную корреляцию между собой, параметр CeT сильно отрицательно коррелирует с ними обоими. TIA имеет сильную отрицательную корреляцию с SCA и среднюю положительную — с NT , CeT , C_7S и Th_1S . Показатели $cSVA$ и CrT сильно коррелируют только между собой. Сравнение полученных параметров сагиттального баланса у детей с данными в научных публикациях по взрослой популяции выявило статистически значимые различия значений у 6 из 10.

Заключение. Определены возрастные нормы основных показателей сагиттального баланса для детей и их различия по полу, а также установлено их отличие от нормальных параметров взрослой популяции, что требует учета данных особенностей в клинической практике.

Ключевые слова: шейный отдел позвоночника, сагиттальный баланс, дети, вертебрология.

Для цитирования: Глухов Д.А., Зорин В.И., Мальцева Я.А., Мушкин А.Ю. Сагиттальный баланс шейного отдела позвоночника у детей старше 4 лет: что считать нормой? // Хирургия позвоночника. 2022. Т. 19. № 4. С. 19–29.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2022.4.19-29>.

SAGITTAL BALANCE OF THE CERVICAL SPINE IN CHILDREN OLDER THAN 4 YEARS: WHAT IS THE NORM?

D.A. Glukhov¹, V.I. Zorin^{2,3}, Y.A. Maltseva², A.Yu. Mushkin^{1,4}

¹St. Petersburg Research Institute of Phthisiopulmonology, St. Petersburg, Russia

²H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, St. Petersburg, Russia

³North-Western State Medical University n.a. I.I. Mechnikov, St. Petersburg, Russia

⁴Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, St. Petersburg, Russia

Objective. To search for normal parameters of the sagittal balance of the cervical spine in children, to analyze their dynamics in different periods of childhood, and to compare them with the norm given for the adult population.

Material and Methods. To assess the parameters of the sagittal balance of the cervical spine, radiographs were selected that were initially evaluated by radiologists as a variant of the norm. The final sample consisted of 73 radiographs of 44 girls and 29 boys aged 4 to 17 years. Digital radiographs were used to evaluate the 10 most common parameters presented in publications: the angular values of $Ос-C_2$, C_2-C_7 , C_7S , Th_1S , TIA , NT , CeT , CrT , SCA , and the distance $cSVA$ measured in millimeters.

C7, C7S, Th1S, TIA, NT, CeT, CrT, SCA, as well as the cSVA distance measured in mm. The measurements were carried out independently by 3 specialists working with pediatric patients: an orthopedic surgeon (experience up to 5 years), an orthopedic surgeon (experience more than 15 years), and a radiologist specializing in skeletal pathology (experience more than 5 years). The obtained results were subjected to statistical processing.

Results. Using multivariate analysis of variance, the presence of a statistically significant difference in age was revealed only for cSVA, gender differences were revealed for 6 out of 10 parameters. Most of the parameters showed good and satisfactory agreement between specialists. A very strong correlation was established between the parameters C7S and Th1S, which correlates with the adjacent position of the vertebrae. The C2–C7 and SCA parameters have a strong positive correlation with each other, the CeT parameter is strongly negatively correlated with both of them. The TIA has a strong negative correlation with SCA and a moderate positive correlation with NT, CeT, C7S, and Th1S. The cSVA and CrT values strongly correlate only with each other. Comparison of the obtained parameters of the sagittal balance in children with the data in scientific publications on the adult population revealed statistically significant differences in the values of 6 out of 10 of them.

Conclusion. The age norms of the main parameters of the sagittal balance for children, and their gender differences were determined. Their difference from the normal parameters of the adult population was established, which requires that these features be taken into account in clinical practice.

Key Words: cervical spine, sagittal balance, children, vertebrology.

Please cite this paper as: Glukhov DA, Zorin VI, Maltseva YaA, Mushkin AYu. Sagittal balance of the cervical spine in children older than 4 years: what is the norm? *Hir. Pozvonoc.* 2022;19(4):19–29. In Russian.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2022.4.19-29>.

В процессе эволюции человек приобрел прямохождение, с чем связано появление физиологических изгибов мобильных отделов позвоночника – шейного лордоза, грудного кифоза и поясничного лордоза. С постепенным изучением биомеханики позвоночника эти изгибы перестали рассматриваться как изолированные с анатомически обусловленными усредненными величинами. Это привело к появлению понятия «баланс позвоночника», впервые обозначенного в предложенной Dubouset теории о «конусе экономии» [1] – пространстве вокруг вертикальной оси, вершина которого располагается в области стоп, а основание – в области головы. Согласно этой теории, находясь в конусе экономии, тело человека сохраняет устойчивую вертикальную позу без задействования дополнительных мышц и угрозы падения, то есть без дополнительных затрат энергии. При этом таз автор условно рассматривал как единый «тазовый позвонок», задающий профиль всего позвоночного столба.

Теория сагиттального баланса получила развитие благодаря огромному числу работ, в которых изучалась связь анатомических параметров таза и изгибов позвоночника с клиническими жалобами, прежде всего

при деформациях и дегенеративных заболеваниях поясничного и грудного отделов. При этом наиболее важным является то, что особое внимание обращалось не столько на абсолютные значения каждого параметра (pelvic incidence, наклона таза и крестца, общего и сегментарного поясничного лордоза, грудного кифоза), сколько на поиск взаимосвязи между ними [2–4].

Шейный отдел является последним звеном в данной биомеханической цепи. Учитывая его удаленность от опорных элементов системы (тазового позвонка), высокую полиплоскостную подвижность и анатомические особенности разных отделов (субокципитального, субаксиального и шейно-грудного), достаточно сложно установить прямую связь биомеханических параметров шеи с перечисленными выше, что подтверждает отсутствие на данный момент таких исследований.

Тем не менее предложен ряд локальных показателей, характеризующих сагиттальный баланс шейного отдела позвоночника (табл. 1), а также 2 способа оценки глобального сагиттального баланса позвоночника, включающие шейный отдел:

1) глобальное сагиттальное смещение вертикали (C₇ sagittal vertical alignment, C₇ SVA), которое харак-

теризует горизонтальное расстояние между линией отвеса из C₇ позвонка и задним краем краниальной пластинки S₁ [2, 5, 6]; данное смещение увеличивается у пожилых людей [2, 6];

2) угол между вертикалью, проведенной через центр вращения тазобедренных суставов, и линией, соединяющей эту же точку и вершину зубовидного отростка C₂ (обозначается в литературе как OD-NA). Считается, что угол не зависит от возраста и является постоянным при отсутствии патологии [2, 6].

Однако, несмотря на обилие показателей, на данный момент устоявшимися являются мнения о том, что определяющий общий шейный лордоз SCA можно считать постоянным в популяции [7], при этом лишь в отношении показателей cSVA > 40 мм и Th₁/C₇ slope > 40° статистически доказана корреляция с измеренным по стандартным шкалам неудовлетворительным качеством жизни пациентов [7, 8].

Важным является уточнение авторов, что обозначенные параметры измерены на бессимптомных добровольцах старше 19 лет, что ставит под сомнение возможность их применения в качестве нормы по отношению к пациентам детского возраста.

Поиск публикаций, посвященных вопросам нормального баланса позвоночника в детской возрастной груп-

пе, обнаруживает единичные статьи с малыми выборками и совершенно разными методологиями.

Цель исследования – поиск нормальных параметров сагиттального баланса шейного отдела позвоночника

Таблица 1

Параметры сагиттального баланса шейного отдела позвоночника с методом расчета и описанием

Параметр	Метод расчета	Примечания
Угол Ос–С ₂ (high cervical angle, верхний шейный угол) [5, 10–12]	Пересечение линий McRae и касательной к нижней замыкательной пластинке С ₂	В норме — всегда лордотический [12]. В общей величине шейного лордоза на Ос–С ₂ приходится 77 % [13, 14]
Угол С ₂ –С ₇ (low cervical curvature, нижний шейный изгиб) [5, 8–12]	Пересечение касательных к нижним замыкательным пластинкам С ₂ и С ₇	В норме соответствует лордозу, но может быть нейтральным, сигмовидным или кифотическим [15]. Имеет отрицательную обратную связь с углом Ос–С ₂ [12, 16]. В общей величине шейного лордоза на С ₂ –С ₇ приходится 23 % [13, 14]. Существует 5 способов измерения угла С ₂ –С ₇ [5, 8–10, 14], причем метод Cobb надежен только при лордозе [8, 15, 17]
Наклон С ₇ (C ₇ slope, C ₇ S)	Угол между горизонталью и верхней замыкательной пластинкой С ₇	При наклоне более 20° шейный отдел имеет лордоз, при наклоне 20° и менее — нейтральный или кифозированный профиль [5, 11, 12]
Наклон Th ₁ (Th ₁ slope, Th1S, T1S) [8–10, 13]	Угол между горизонталью и верхней замыкательной пластинкой Th ₁	Часто Th ₁ сложно визуализируется на рентгенограммах из-за перекрытия плечевыми суставами. Формула, позволяющая ориентироваться на С ₇ : T1S = 0,87C ₇ S + 7° [18]
Спинуокраниальный угол (spino-cranial angle, SCA)	Угол между верхней замыкательной пластинкой С ₇ и линией, проведенной через ее середину и центр турецкого седла	Данный угол постоянен при отсутствии патологии и отражает смещение головы относительно шейно-грудного перехода [12, 19]
Угол грудного «входа» (thoracic inlet angle, TIA) [5, 8–10, 13]	Угол между перпендикуляром к середине верхней замыкательной пластинки Th ₁ и линией, соединяющей эту точку и верхнюю точку грудины	Существует мнение о том, что он является постоянной анатомической величиной, наподобие PI [13], однако показана возможность изменения его величины при сгибании-разгибании шеи [20]
Наклон шеи (neck tilt, NT) [8–10, 13]	Угол между вертикалью и линией между вершиной грудины и серединой краниальной замыкательной пластинки Th ₁	Lee et al. [21] обратили внимание на сопоставимость величины NT у разных исследователей. Предположив постоянство показателя, представили результаты корректирующих вертебротомий в шейном отделе по поводу деформаций и отметили статистически значимое изменение TIA и T1S до и после операции с сохранением значения NT на дооперационном уровне. Три параметра связаны формулой TIA = T1S + NT. Имеют сильную корреляцию: увеличение TIA приводит к увеличению T1S и к увеличению шейного лордоза [13, 20]
Цервикальный (шейный) наклон (наклон шеи, cervical tilt, CeT) [10, 13]	Угол между перпендикуляром к середине краниальной замыкательной пластинки Th ₁ и линией, соединяющей эту же точку с вершиной зуба С ₂	—
Краниальный (черепной) наклон (наклон черепа, cranial tilt, CrT) [10, 13]	Угол между вертикалью, проведенной из середины краниальной замыкательной пластинки Th ₁ , и линией, соединяющей эту же точку с вершиной зуба С ₂	Формула, объединяющая 2 параметра и наклон Th ₁ : T1S = CeT + CrT, причем соотношение между слагаемыми 70 % и 30 % соответственно [13]
Вертикальное шейное смещение (vertical cervical offset, cervical sagittal vertical alignment, cSVA) [8–10, 12]	Расстояние (в мм) между линиями отвеса, построенными из центра тела С ₂ и заднего краниального угла тела С ₇	Характеризует смещение головы. На биологических моделях установлено, что при увеличении cSVA за счет гиперкифоза С ₂ –С ₇ и гиперлордоза С ₀ –С ₂ происходит увеличение размеров корешковых отверстий, что может являться компенсаторным механизмом при радикулопатиях [16]

у детей, анализ их динамики в разные периоды детства, а также сопоставление их с нормой, приведенной для взрослой популяции.

Материал и методы

Материалом для исследования явились рентгенограммы позвоночника в двух проекциях, ретроспективно отобранные из лучевого архива (PACS-сервера) одного из детских амбулаторных учреждений Санкт-Петербурга. Критериями для отбора рентгенограмм являлись следующие параметры:

- 1) возраст детей от 4 до 17 лет включительно;
- 2) проведение рентгенологического исследования в связи с каким-либо состоянием, не связанным с ортопедической патологией или заболеванием позвоночника – исследование грудной клетки, обследования у невролога;
- 3) захват на рентгенограмме всего шейного отдела позвоночника и основания черепа;
- 4) проведение исследования в вертикальном положении.

Для оценки параметров сагиттального баланса шейного отдела позвоночника были отобраны рентгенограммы, исходно оцененные врачами-рентгенологами как вариант нормы. Конечная выборка составила 73 рентгенограммы 44 девочек и 29 мальчиков. Перед дальнейшей работой выполнено обезличивание информации о пациентах с сохранением пола и возраста, распределение представлено на рис. 1.

Методика измерений наиболее часто используемых параметров сагиттального баланса шеи представлена в табл. 1.

По рентгенограммам проведена оценка 10 наиболее распространенных из представленных в публикациях показателей: угловые значения $O\text{--}C_2$, $C_2\text{--}C_7$, $C_7\text{S}$, $Th_1\text{S}$, TIA , NT , CeT , CrT , SCA , а также измеренное в миллиметрах расстояние $cSVA$ (рис. 2). Для исключения потенциально возможных погрешностей измерения, вносимых различными программами для рабо-

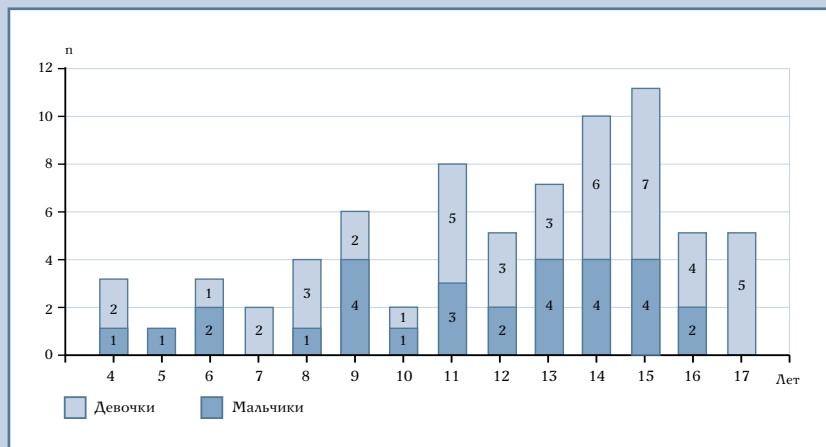


Рис. 1

Распределение детей по полу и возрасту

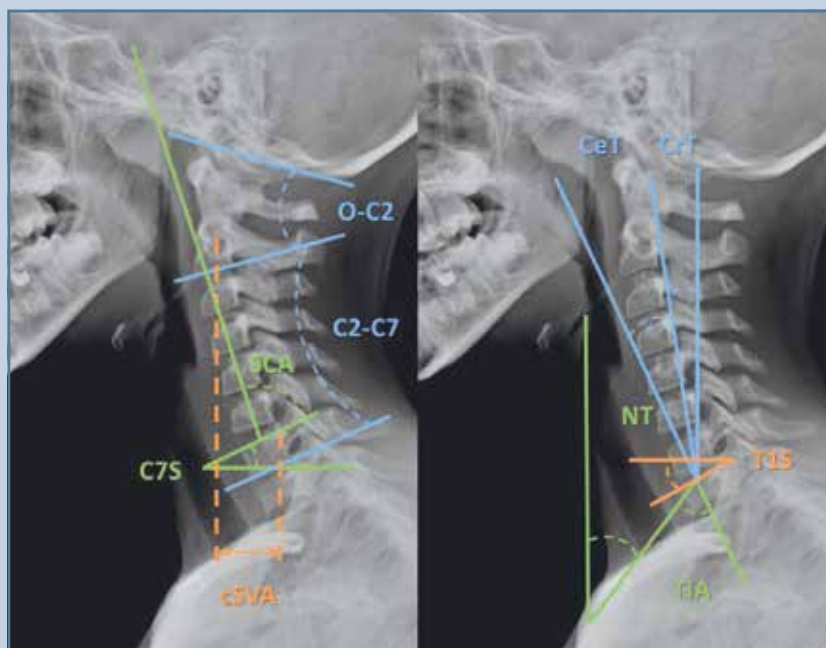


Рис. 2

Параметры сагиттального баланса шейного отдела позвоночника (подробное описание в тексте и в табл. 1)

ты с DICOM-файлами, все измерения выполняли в лицензионной версии программы RadiAnt DICOM Viewer (версия 2021.2, Copyright © 2009–2022 Medixant).

Статистический анализ и визуализацию полученных результатов проводили с использованием свободной

программной среды вычислений R (версия 3.5.1, GNU GPL v.2).

Измерения осуществляли независимо друг от друга 3 специалиста, работающие с пациентами детского возраста: травматолог-ортопед со стажем до 5 лет, травматолог-ортопед со стажем более 15 лет и рентгенолог со ста-

Таблица 2

Коэффициенты вариации величин при измерении параметров сагиттального баланса тремя специалистами

Параметр	Ос–C ₂	C ₂ –C ₇	cSVA	C ₇ S	Th ₁ S	TIA	NT	CeT	CrT	SCA
V	0,237	0,349	0,166	0,103	0,123	0,117	0,127	0,311	0,334	0,053

Критерии оценки уровня согласованности V: менее 0,2 — хорошая согласованность, от 0,2 до 0,3 — удовлетворительная, более 0,3 — неудовлетворительная.

жем более 5 лет, специализирующийся на патологии скелета. Оценку согласованности между специалистами по измерению параметров с учетом их количественного типа выполняли путем расчета среднего коэффициента вариации V по каждому из параметров для случайно отобранных из общей выборки 15 рентгенограмм (табл. 2).

У большей части параметров отмечена хорошая и удовлетворительная согласованность специалистов. Неудовлетворительная согласованность трех параметров ($>0,3$), по-видимому, связана с отсутствием оссификации зон роста у детей младшего возраста (замыкательные пластинки и вершина зубовидного отростка), что вызывает трудности при определении ориентиров для измерения углов.

Перед статистической обработкой данных выполнили оценку характера распределения измеренных величин с использованием графического метода путем построения гистограмм и кривых плотностей распределения, квантильных графиков для визуального сравнения фактического распределения с нормальным, а также вычислили критерии проверки на нормальность Шапиро – Уилка и Лиллиефорса. При незначительных отклонениях форм графических характеристик распределения вычисленные критерии проверки практически для всех параметров, кроме TIA, не позволяют отклонить нулевую гипотезу о том, что распределения соответствуют нормальному ($p > 0,05$). Лишь в отношении TIA выявлены более выраженные графические отклонения и, согласно критерию Лиллиефорса, имеются показания для отклонения нулевой гипотезы ($p = 0,03$), однако по критерию Шапиро – Уилка таких основа-

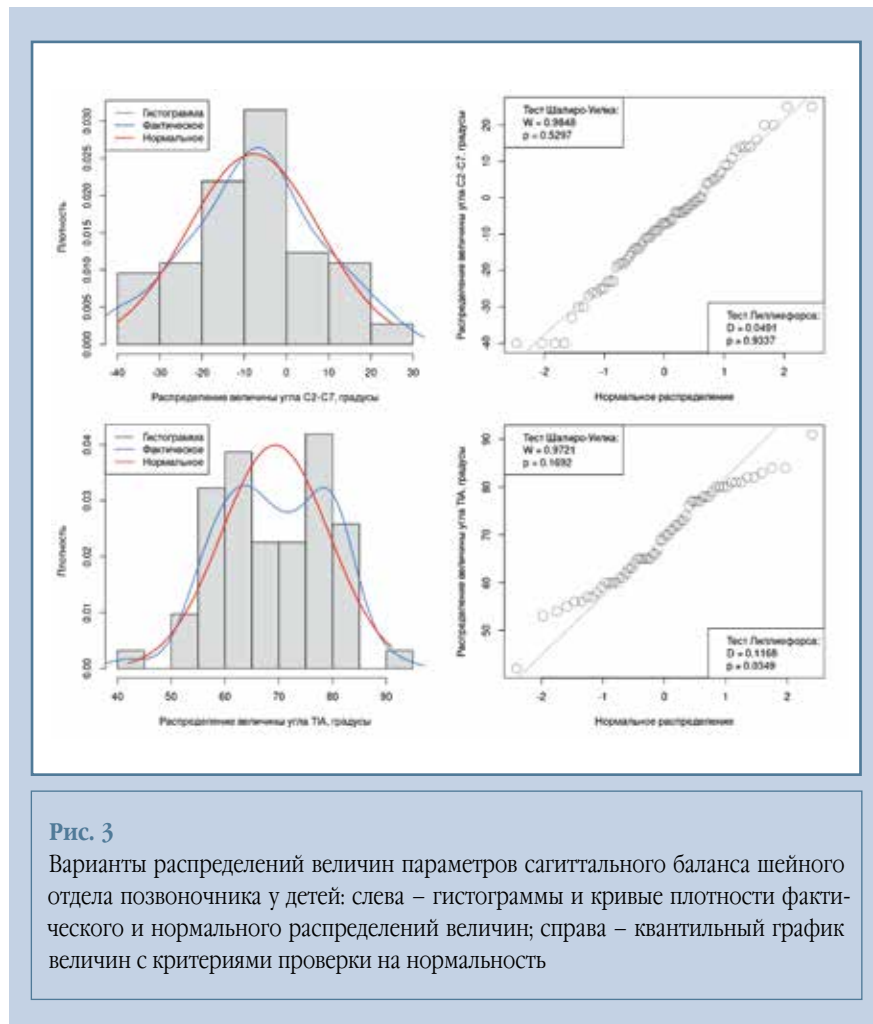


Рис. 3

Варианты распределений величин параметров сагиттального баланса шейного отдела позвоночника у детей: слева – гистограммы и кривые плотности фактического и нормального распределений величин; справа – квантильный график величин с критериями проверки на нормальность

ний нет ($p = 0,17$). В качестве примера на рис. 3 представлены показатели распределения угла субаксиального лордоза и TIA.

При проведении этапов исследования всю выборку разделили на 3 возрастные группы (4–6, 7–12 и 13–17 лет) и, соответственно, две половые группы. В каждой группе по каждому параметру дополнительно выполнили проверку распределения на нормальность при помощи критерия Шапиро – Уилка: во всех случаях

достаточных оснований для отклонения нулевой гипотезы не обнаружено ($p > 0,05$).

Результаты

В соответствии с распределениями, близкими к нормальному, полученные нами величины параметров сагиттального баланса у детей представлены в виде средних значений с указанием 95 % и 99 % доверительных интервалов (табл. 3).

Таблица 3

Значения величин параметров сагиттального баланса шейного отдела позвоночника у детей

Параметр	Средняя величина	95 % доверительный интервал	99 % доверительный интервал
Ос–С ₂ , град.	-23,8 ± 8,7	(-25,8; -21,8)	(-26,5; -21,1)
С ₂ –С ₇ , град.	-7,8 ± 15,6	(-11,4; -4,1)	(-12,6; -2,9)
С ₇ С, град.	24,0 ± 8,8	(22,0; 26,1)	(21,3; 26,8)
Th ₁ С, град.	28,0 ± 8,0	(26,1; 29,9)	(25,5; 30,5)
TIA, град.	69,4 ± 10,0	(66,8; 71,9)	(66,0; 72,7)
NT, град.	41,1 ± 7,6	(39,2; 43,0)	(38,5; 43,6)
СеТ, град.	19,8 ± 8,4	(17,8; 21,8)	(17,2; 22,4)
CrТ, град.	8,5 ± 8,4	(7,2; 9,7)	(6,8; 10,1)
SCA, град.	80,4 ± 10,3	(77,9; 82,9)	(77,1; 83,7)
cSVA, мм	24,1 ± 9,2	(22,0; 26,3)	(21,3; 27,0)

Знак «-» перед цифровым значением соответствует лордозу.

Оценку линейной зависимости параметров сагиттального баланса от возраста детей выполнили путем расчета коэффициента корреляции Кендалла в связи с тем, что возраст детей в когорте не подчиняется нормальному распределению (критерий Шапиро – Уилка: $W = 0,9336$; $p = 0,0008$) и при упорядочивании имеет повторяющиеся ранги. Статистически значимая корреляция с возрастом получена лишь

для угла Ос–С₂ (очень слабая отрицательная) и расстояния cSVA (слабая положительная) соответственно. Распределения указанных параметров представлены на рис. 4.

С помощью многофакторного дисперсионного анализа наличие статистически значимого различия между возрастными группами выявлено лишь для параметра cSVA, в то время

как половые различия зафиксированы у 6 из 10 параметров (табл. 4).

Для оценки различий между конкретными возрастными группами выполнено попарное сравнение с использованием апостериорного критерия Тьюки (табл. 5). Статистически значимое различие величины параметра cSVA зафиксировано у детей старшего школьного возраста (13–17 лет) в сравнении с более младшими возрастными группами ($p < 0,05$).

Средние величины параметров для мальчиков и девочек с оценкой межполовых различий путем расчета критерия Стьюдента представлены в табл. 6. Межполовые различия незначимы для 4 из 10 параметров: Ос–С₂, NT, CrТ, cSVA.

Анализ линейной связи параметров сагиттального баланса шейного отдела позвоночника между собой осуществили путем построения матрицы корреляций, состоящей из коэффициентов корреляции Пирсона, и представили в виде диаграммы (рис. 5).

Очень сильная корреляция установлена между параметрами С₇С и Th₁С, что соотносится со смежным поло-

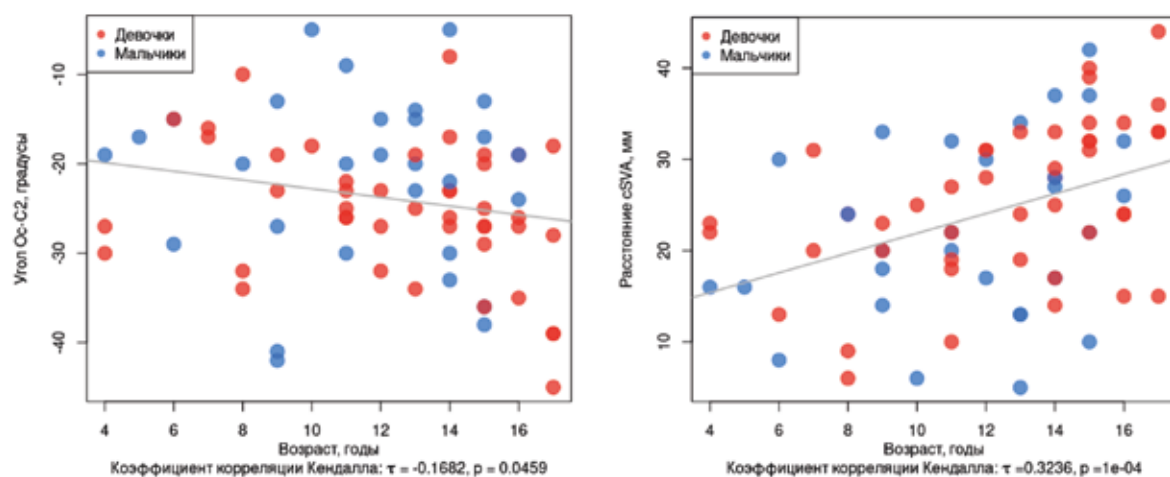


Рис. 4

Диаграммы рассеивания величин параметров сагиттального баланса для параметров угла Ос–С₂ и cSVA в зависимости от возраста с коэффициентами корреляции Кендалла

Таблица 4

Результаты многофакторного дисперсионного анализа влияния возраста и пола на параметры баланса

Параметр	Критерий Левена		Влияющие факторы			
			возраст		пол	
	F	p	F	p	F	p
Ос–С ₂	0,1872	0,8297	0,633	0,5340	2,398	0,1260
С ₂ –С ₇	0,2357	0,7909	2,144	0,1249	9,922	0,0024
С ₇ S	0,4802	0,6207	0,907	0,4084	8,224	0,0055
Th ₁ S	1,4328	0,2456	0,131	0,8778	8,490	0,0048
TIA	0,7158	0,4930	1,295	0,2816	12,171	0,0009
NT	0,0243	0,9760	1,059	0,3530	1,053	0,3090
CeT	0,0529	0,9485	0,553	0,5780	17,300	9,04e-05
CrT	0,0924	0,9118	0,772	0,4660	2,190	0,1430
SCA	0,2759	0,7598	1,568	0,2160	21,041	2,11e-05
cSVA	1,2597	0,2902	6,581	0,0024	1,151	0,2870

Таблица 5

Различие расстояния cSVA по возрастным группам и статистическая значимость различий, рассчитанная по критерию Тьюки

Параметр	Среднее значение, мм			p	7–12 лет	13–18 лет
	4–6 лет	7–12 лет	13–18 лет			
cSVA	18,3	20,1	27,0	7–12 лет	—	0,0080

Таблица 6

Различие параметров по полу

Параметр	Среднее значение		t-критерий Стьюдента	Статистическая значимость, p
	мальчики	девочки		
Ос–С ₂ , град.	-21,7	-25,1	1,5758	0,1215
С ₂ –С ₇ , град.	-14,8	-3,1	-3,3258	0,0015
С ₇ S, град.	27,7	21,6	3,0578	0,0033
Th ₁ S, град.	31,4	25,9	3,0943	0,0029
TIA, град.	74,3	65,8	3,8168	0,0003
NT, град.	42,4	40,1	1,1552	0,2531
CeT, град.	24,4	16,8	4,4490	3,24e-05
CrT, град.	7,3	9,2	-1,5004	0,1387
SCA, град.	73,9	84,5	-4,9171	7,219e-06
cSVA, мм	22,4	25,3	-1,2812	0,2056

жением позвонков. Оба параметра, характеризующие наклон основания шейного отдела позвоночника, имеют сильную корреляцию с отражающим общий наклон шеи параметром CeT, сильную отрицательную корреляцию с характеризующим сагиттальный профиль субаксиального отдела позвоночника параметром С₂–С₇

и с соответствующим общему положению головы относительно С₇ позвонка показателем SCA. Корреляция с другим показателем положения головы, CrT, слабая.

Показатели С₂–С₇ и SCA имеют сильную положительную корреляцию между собой, параметр CeT сильно отрицательно коррелирует с ними

обоими. TIA имеет сильную отрицательную корреляцию с SCA и среднюю положительную – с NT, CeT, С₇S и Th₁S. Показатели cSVA и CrT сильно коррелируют только между собой.

Остальные параметры имеют слабую или очень слабую статистически незначимую корреляцию.

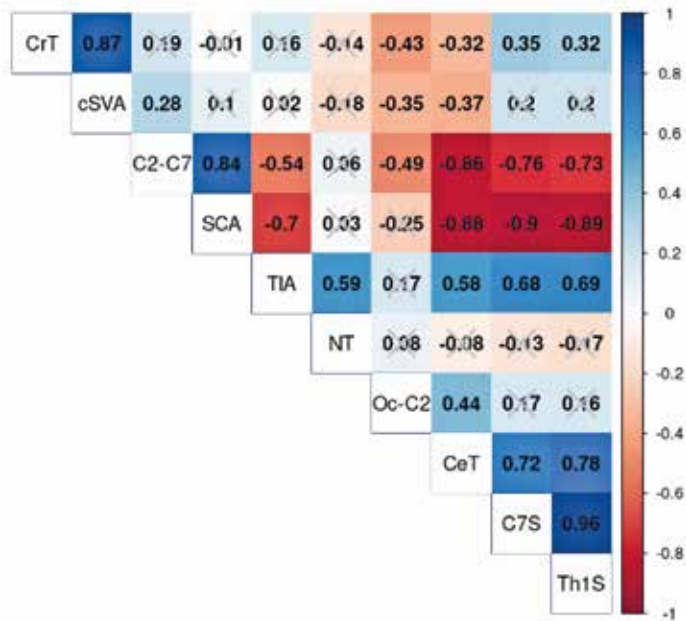


Рис. 5

Диаграмма корреляций параметров сагиттального баланса шейного отдела позвоночника между собой, рассчитанных по методу Пирсона (перечеркнуты статистически незначимые коэффициенты корреляции, $p > 0,05$)

Обсуждение

Ряд исследований подтверждает постепенное увеличение параметров PI, PT, LL, TK у детей по мере роста с достижением значений, характерных для взрослых [11, 22–24], при этом в одних отмечается, что SS значительно не меняется с ростом детей [22], а в других – его статистически значимое увеличение в этом периоде [24]. Указывается, что глобальный сагиттальный баланс, оцененный по показателям SVA, а также CEA (учитывает вертикаль, опущенную из центра наружного слухового отверстия) в процессе детства переходят из положительных в отрицательные значения: от 25,4 мм в -8,6 мм для SVA и от 8,1 мм в -6,5 мм для CEA [11, 23], где знак «-» свидетельствует о проекции показателя кзади от вертикальной линии.

Отмечено, что шейный лордоз начинает формироваться еще у пло-

да (что в определенной мере ставит вопрос о связи изгибов позвоночника с вертикализацией), а после рождения при попытках держать голову и сидеть лишь усиливается [11, 25, 26]. Вместе с тем не для всех детей характерно его наличие: так, при полном отсутствии жалоб у детей шейный лордоз встречается в 40–71 % наблюдений, прямой профиль – в 16–23 %, кифоз – в 5,8–44,0 % [24, 26].

Не выявив значимых различий общего шейного лордоза у пациентов разного возраста и пола, исследователи, тем не менее, к возрастным особенностям детей относят большую кифозированность тел позвонков при более лордозированных дисках [26], а к половым – более выраженный лордоз на субокципитальном уровне – у девочек, а на субаксиальном – у мальчиков [11, 26], считая, что особенности субаксиального лордоза коррелируют с глобальным

шейным лордозом на уровне C_1 – C_7 и сохраняются по мере роста детей [11]. Эти данные соответствуют полученным нами половым различиям субокципитального и субаксиального лордозов. Указывается также на значимое уменьшение субаксиального лордоза и наклона C_7 позвонка после 10 лет, а также сильную корреляцию между наклоном C_7 позвонка и величинами глобального шейного лордоза (C_1 – C_7) и грудного кифоза ТК [11].

Kasai et al. [25] выявили особенности пространственной ориентации фасеточных суставов шейных позвонков в сагиттальной плоскости у растущих детей: суставная щель постепенно меняет свою плоскость из практически горизонтальной в более вертикальную, оставаясь неизменной после 10 лет. Именно с горизонтальной ориентацией суставов авторы связывают феномен псевдоподвывиха у детей младшего возраста. Также исследователи отметили постепенное уменьшение шейного лордоза C_3 – C_7 до 9 лет с дальнейшим его увеличением [25]. Другие авторы отмечают, что шейный лордоз увеличивается до 17 лет, а далее начинает уменьшаться [24].

Все исследователи сталкиваются с общей этической проблемой – невозможностью рентгенологического обследования здоровых детей без клинических симптомов и жалоб, а наличие причин ставит под сомнение возможность признания полученных на таких рентгенограммах параметров нормой. Так как проведение полноценных исследований подобного рода в детском возрасте невозможно, представленные выше данные получены на детях, чаще всего проходивших обследования по поводу травм или при подозрении на сколиоз, при этом авторы исключали рентгенограммы с обнаруженной патологией. По всей видимости, этические ограничения и особенности выборок являются причиной полученных разными авторами неоднозначных данных.

В нашей работе между рядом параметров установлена достаточно сильная линейная зависимость, которая может объясняться компенсаторными

Таблица 7

Сравнение величин параметров сагиттального баланса шейного отдела позвоночника у детей и взрослых

Параметр	Средняя величина у детей	Средняя величина у взрослых (по данным литературы)	t-критерий Стьюдента	Статистическая значимость, p
Ос—С ₂ , град.	-23,78 ± 8,68	-15,81 ± 7,15	-7,8588	2,8e-11
С ₂ —С ₇ , град.	-7,75 ± 15,58	-9,90 ± 12,50	1,1769	0,2431
С ₇ S, град.	24,04 ± 8,80	19,60 ± 8,80	4,3099	5,1e-05
Th ₁ S, град.	28,01 ± 8,04	25,70 ± 6,40	2,4406	0,0172
TIA, град.	69,35 ± 9,98	69,50 ± 8,60	-0,1145	0,9092
NT, град.	41,08 ± 7,59	43,70 ± 6,10	-2,7187	0,0085
СеТ, град.	19,79 ± 8,41	18,00 ± 6,60	1,8228	0,0725
СгТ, град.	8,47 ± 8,41	7,70 ± 5,00	1,2080	0,2310
SCA, град.	80,38 ± 10,29	83,00 ± 9,00	-2,1179	0,0379
cSVA, мм	24,12 ± 9,21	4,70–21,30	2,6203	0,0107

механизмами по поддержанию вертикального положения головы. Значимые половые различия между мальчиками и девочками выявлены более чем по половине оцениваемых параметров, а значимые изменения между разными периодами детства – только у параметра cSVA.

Сравнение полученных на основе детской выборки параметров сагиттального баланса шейного отдела позвоночника с параметрами взрослой популяции, представленными в научных публикациях, выявило при наличии, на первый взгляд, достаточно малой абсолютной разницы статистически значимые различия 6 из 10 параметров (табл. 7).

Заключение

Выявленные в ходе исследования ангулометрические показатели, отражающие особенности сагиттального баланса шейного отдела позвоночника

у детей, требуют дальнейшего изучения для лучшего понимания биомеханики этой сложной и очень подвижной анатомической зоны. Тем не менее полученные данные позволяют использовать их как отправную точку при оценке патологии шейного отдела и эффективности ее лечения у пациентов детского возраста.

В ходе работы определены возрастные нормы основных показателей сагиттального баланса шейного отдела позвоночника для детей и их различия по полу, а также установлено их отличие от нормальных параметров взрослой популяции, что требует учета данных особенностей в клинической практике.

Ограничения достоверности результатов определяются ретроспективным дизайном и невозможностью проведения исследований на добровольцах в детской возрастной группе.

Данные о согласованности между специалистами по оценке параметров могут, с одной стороны, требовать более широкой респонденции, а с другой – поставить вопрос о поиске решений для нивелирования фактора субъективности.

Благодарность

Выражаем благодарность Денису Георгиевичу Наумову за помощь на ранних этапах планирования исследования.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов или финансовой заинтересованности при выполнении работы.

Исследование выполнено в рамках планового научного комитета ФГБУ СПбНИИФ МЗ РФ, протокол № 65.4 от 22.01.2020 г.

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

Литература/References

- Dubouset J. Three-dimensional analysis of the scoliotic deformity. In: Weinstein SL, ed. The Pediatric Spine: Principles and Practice. New York: Raven Press, 1994:479–496.
- Le Huec JC, Thompson W, Mohsinaly Y, Barrey C, Faundez A. Sagittal balance of the spine. Eur Spine J. 2019;28:1889–1905. DOI: 10.1007/s00586-019-06083-1.
- Abelin-Genevois K. Sagittal balance of the spine. Orthop Traumatol Surg Res. 2021;107(1S):102769. DOI: 10.1016/j.otsr.2020.102769.
- Бортулев П.И., Виссарионов С.В., Басков В.Е., Овечкина А.В., Барсуков Д.Б., Поздников И.Ю. Клинико-рентгенологические показатели позвоночно-тазовых соотношений у детей с диспластическим подвывихом бедра // Травматология и ортопедия России. 2018. Т. 24. № 3. С. 74–82. [Bortulev PI, Vissarionov SV, Baskov VE, Ovechkina AV, Barsukov DB, Pozdnikov IYu. 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]. DOI: 10.21823/2311-2905-2018-24-3-74-82.
- Aljani B, Rasouljan J. The sagittal balance of the cervical spine: radiographic analysis of interdependence between the occipitocervical and spinopelvic alignment. Asian Spine J. 2020;14:287–297. DOI: 10.31616/asj.2019.0165.

6. **Amabile C, Le Huec JC, Skalli W.** Invariance of head-pelvis alignment and compensatory mechanisms for asymptomatic adults older than 49 years. *Eur Spine J.* 2018;27:458–466. DOI: 10.1007/s00586-016-4830-8.
7. **Ling FP, Chevillotte T, Leglise A, Thompson W, Bouthors C, Le Huec JC.** Which parameters are relevant in sagittal balance analysis of the cervical spine? A literature review. *Eur Spine J.* 2018;27(Suppl 1):8–15. DOI: 10.1007/s00586-018-5462-y.
8. **Vibhu Krishnan V, Surabhi S.** Cervical sagittal alignment parameters-what do we know so far? A mini-review. *Open Access J Surg.* 2018;9:555762. DOI: 10.19080/OAJS.2018.09.555762.
9. **Tan LA, Riew KD, Traynelis VC.** Cervical spine deformity – Part 1: Biomechanics, radiographic parameters, and classification. *Neurosurgery.* 2017;81:197–203. DOI: 10.1093/neuros/nyx249.
10. **Ozdogan S, Koken M, Duzkalir HG, Duzkalir AH, Yaltirik CK, Ozturk E, Savrunlu EC, Civelek E, Kabatas S.** Brief review on fundamentals of cervical spine alignment. *J Turk Spinal Surg* 2017;28:53–60.
11. **Abelin-Genevois K, Idjerouidene A, Roussouly P, Vital JM, Garin C.** Cervical spine alignment in the pediatric population: a radiographic normative study of 150 asymptomatic patients. *Eur Spine J.* 2014;23:1442–1448. DOI: 10.1007/s00586-013-3150-5.
12. **Le Huec JC, Richards J, Tsoupras A, Price R, Leglise A, Faundez AA.** The mechanism in junctional failure of thoraco-lumbar fusions. Part I: Biomechanical analysis of mechanisms responsible of vertebral overstress and description of the cervical inclination angle (CIA). *Eur Spine J.* 2018;27(Suppl 1):129–138. DOI: 10.1007/s00586-017-5425-8.
13. **Lee SH, Kim KT, Seo EM, Suk KS, Kwack YH, Son ES.** The influence of thoracic inlet alignment on the craniocervical sagittal balance in asymptomatic adults. *J Spinal Disord Tech.* 2012;25:E41–E47. DOI: 10.1097/BSD.0b013e3182396301.
14. **Scheer JK, Tang JA, Smith JS, Acosta FL Jr, Protosaltis TS, Blondel B, Bess S, Shaffrey CI, Deviren V, Lafage V, Schwab F, Ames CP.** Cervical spine alignment, sagittal deformity, and clinical implications: a review. *J Neurosurg Spine.* 2013;19:141–159. DOI: 10.3171/2013.4.SPINE.12838.
15. **Ohara A, Miyamoto K, Naganawa T, Matsumoto K, Shimizu K.** Reliabilities of and correlations among five standard methods of assessing the sagittal alignment of the cervical spine. *Spine.* 2006;31:2585–2592. DOI: 10.1097/01.brs.0000240656.79060.18.
16. **Patwardhan AG, Khayatizadeh S, Havey RM, Voronov LI, Smith ZA, Kalmanson O, Ghanayem AJ, Sears W.** Cervical sagittal balance: a biomechanical perspective can help clinical practice. *Eur Spine J.* 2018;27(Suppl 1):25–38. DOI: 10.1007/s00586-017-5367-1.
17. **Janusz P, Tyrakowski M, Yu H, Siemionow K.** Reliability of cervical lordosis measurement techniques on long-cassette radiographs. *Eur Spine J.* 2016;25:3596–3601. DOI: 10.1007/s00586-015-4345-8.
18. **Ye IB, Tang R, Cheung ZB, White SJW, Cho SK.** Can C7 slope be used as a substitute for T1 slope? A radiographic analysis. *Global Spine J.* 2020;10:148–152. DOI: 10.1177/2192568219846909.
19. **Le Huec JC, Demezon H, Aunoble S.** Sagittal parameters of global cervical balance using EOS imaging: normative values from a prospective cohort of asymptomatic volunteers. *Eur Spine J.* 2015;24:63–71. DOI: 10.1007/s00586-014-3632-0.
20. **Janusz P, Tyrakowski M, Glowka P, Offoha R, Siemionow K.** Influence of cervical spine position on the radiographic parameters of the thoracic inlet alignment. *Eur Spine J.* 2015;24:2880–2884. DOI: 10.1007/s00586-015-4023-x.
21. **Lee SH, Hyun SJ, Jain A.** Cervical sagittal alignment: literature review and future directions. *Neurospine.* 2020;17:478–496. DOI: 10.14245/ns.2040392.196.
22. **Mac-Thiong JM, Berthodnaud E, Dimar JR 2nd, Betz RR, Labelle H.** Sagittal alignment of the spine and pelvis during growth. *Spine.* 2004;29:1642–1647. DOI: 10.1097/01.brs.0000132312.78469.7b.
23. **Cil A, Yazici M, Uzumcugil A, Kandemir U, Alanay A, Alanay Y, Acaroglu RE, Surat A.** The evolution of sagittal segmental alignment of the spine during childhood. *Spine.* 2005;30:93–100. DOI: 10.1097/01.brs.0000149074.21550.32.
24. **Lee CS, Noh H, Lee DH, Hwang CJ, Kim H, Cho SK.** Analysis of sagittal spinal alignment in 181 asymptomatic children. *J Spinal Disord Tech.* 2012;25:E259–E263. DOI: 10.1097/BSD.0b013e318261f346.
25. **Kasai T, Ikata T, Katoh S, Miyake R, Tsubo M.** Growth of the cervical spine with special reference to its lordosis and mobility. *Spine.* 1996;21:2067–2073. DOI: 10.1097/00007632-199609150-00003.
26. **Been E, Shefi S, Soudack M.** Cervical lordosis: the effect of age and gender. *Spine J.* 2017;17:880–888. DOI: 10.1016/j.spinee.2017.02.007

Адрес для переписки:

Глухов Дмитрий Александрович
194064, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 32,
Санкт-Петербургский НИИ фтизиопульмонологии,
dmitriy.a.glukhov@gmail.com

Address correspondence to:

Glukhov Dmitrii Aleksandrovich
St. Petersburg Research Institute of Phthisiopulmonology,
32 Politekhnikeskaya str., St. Petersburg, 194064, Russia,
dmitriy.a.glukhov@gmail.com

Статья поступила в редакцию 11.11.2022

Рецензирование пройдено 23.11.2022

Подписано в печать 26.11.2022

Received 11.11.2022

Review completed 23.11.2022

Passed for printing 26.11.2022

Дмитрий Александрович Глухов, врач-травматолог-ортопед, младший научный сотрудник, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии, Россия, 194064, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 32, ORCID: 0000-0002-6880-8562, dmitriy.a.glukhov@gmail.com;
Вячеслав Иванович Зорин, канд. мед. наук, доцент, заместитель директора по научной и учебной работе, Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера, Россия, 196603, Санкт-Петербург, Пушкин, ул. Парковая, 64–68; доцент кафедры детской хирургии, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Россия, 191015, Санкт-Петербург, ул. Кирочная, 41, ORCID: 0000-0002-9712-5509, traumaturner@yandex.ru;
Яна Алексеевна Мальцева, врач-рентгенолог, Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера, Россия, 196603, Санкт-Петербург, Пушкин, ул. Парковая, 64–68, ORCID: 0000-0001-6230-7364, jan3.gor@yandex.ru;

Александр Юрьевич Мушкин, д-р мед. наук, проф., главный научный сотрудник, руководитель центра патологии позвоночника, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии, Россия, 194064, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 32; профессор кафедры травматологии и ортопедии, Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. И.П. Павлова, Россия, 197022, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, 6–8, ORCID: 0000-0002-1342-3278, aymusbkin@mail.ru.

Dmitrii Aleksandrovich Glukhov, orthopedic surgeon, junior researcher, St. Petersburg Research Institute of Phthisiopulmonology, 32 Politekhnikeskaya str., St. Petersburg, 194064, Russia, ORCID: 0000-0002-6880-8562, dmitriy.a.glukhov@gmail.com;

Vyacheslav Ivanovich Zorin, MD, PhD, orthopedic surgeon, associate professor, deputy director for scientific and educational work, H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, 64–68 Parkovaya str., Pushkin, St. Petersburg, 196603, Russia; associate professor of Pediatric Surgery Department, North-Western State Medical University n.a. I.I. Mechnikov, 41 Kirochnaya str., St. Petersburg, 191015, Russia, ORCID: 0000-0002-9712-5509, zoringlu@yandex.ru;

Yana Alekseyevna Maltseva, radiologist, H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, 64–68 Parkovaya str., Pushkin, St. Petersburg, Russia, ORCID: 0000-0001-6230-7364, jan3.gor@yandex.ru;

Aleksandr Yuryevich Musbkin, DMSc, Prof., Chief Researcher, Head of the Scientific and Clinical Center for Spinal Pathology, St. Petersburg Research Institute of Phthisiopulmonology, 32 Politekhnikeskaya str., St. Petersburg, 194064, Russia; Professor of the Department of Traumatology and Orthopedics, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, 6–8 L'va Tolstogo str., St. Petersburg, 197022, Russia, ORCID: 0000-0002-1342-3278, aymusbkin@mail.ru.