



# АНАЛИЗ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШЕЙНОГО САГИТТАЛЬНОГО БАЛАНСА У ДЕТЕЙ В НОРМЕ И С СИНДРОМОМ ДАУНА

А.А. Кулешов<sup>1</sup>, А.Г. Назаренко<sup>1</sup>, В.А. Шаров<sup>1</sup>, М.С. Ветрилэ<sup>1</sup>, А.В. Овсянкин<sup>2</sup>, Е.С. Кузьмина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии

им. Н.Н. Приорова, Москва, Россия

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

**Цель исследования.** Анализ корреляционных связей и зависимостей параметров шейного сагиттального баланса, а также соответствующих компенсаторных механизмов на примере детей без выявленной ортопедической патологии и детей с синдромом Дауна.

**Материал и методы.** Для оценки взаимного влияния параметров шейного сагиттального баланса использовали цифровые рентгенограммы 110 детей. Возрастной диапазон — 4–17 лет. В группу 1 вошли 60 детей без выявленной ортопедической патологии: 26 мальчиков и 34 девочки, средний возраст 11 лет (7,0–14,0); в группу 2 — 50 детей с синдромом Дауна: 24 мальчика и 26 девочек, средний возраст 9 лет (7,0–12,0). По данным цифровых рентгенограмм произведена оценка восьми ключевых угловых параметров шейного сагиттального баланса: O–C<sub>2</sub>, O–C<sub>7</sub>, C<sub>1</sub>–C<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>–C<sub>7</sub>, C<sub>7</sub>S, T<sub>1</sub>S, TIA, NT. Проведен статистический анализ данных с использованием анализа ранговых корреляций и многофакторной регрессии.

**Результаты.** При оценке ранговых корреляций определена ведущая положительная корреляция между показателями величины шейного лордоза и величины угла входа в грудную клетку (TIA). По результатам многофакторной регрессии определены основные тенденции в изменении ключевых углов шейного сагиттального баланса у детей. Увеличение TIA на 1° приводит к увеличению угла C<sub>2</sub>–C<sub>7</sub> в среднем на 0,6° (p = 0,004) и угла C<sub>1</sub>–C<sub>2</sub> на 0,4° (p = 0,028) как для девочек, так и для мальчиков без выявленной ортопедической патологии. Это правило равноценно и при уменьшении угла TIA с возрастом. Вместе с тем у девочек угол C<sub>2</sub>–C<sub>7</sub> в среднем на 2,9° (p = 0,021) и угол C<sub>1</sub>–C<sub>2</sub> на 1,2° (p = 0,112) больше, чем у мальчиков. Для детей с синдромом Дауна справедливы аналогичные тенденции, однако с менее выраженным регрессионным влиянием факторов. Так, у детей с синдромом Дауна увеличение TIA на 1° связано со средним ростом угла C<sub>2</sub>–C<sub>7</sub> на 0,5° (p = 0,004) и угла C<sub>1</sub>–C<sub>2</sub> на 0,2° (p = 0,035). У девочек угол C<sub>2</sub>–C<sub>7</sub> в среднем на 3,1° (p = 0,018) больше, чем у мальчиков. Для угла C<sub>1</sub>–C<sub>2</sub> аналогичную зависимость определить не удалось.

**Заключение.** Шейный отдел позвоночника, несмотря на высокую мобильность, имеет четкую связь с нижележащими отделами. Удалось доказать, что TIA, имея малую вариативность для каждого конкретного ребенка, является базисом для формирования шейного лордоза C<sub>2</sub>–C<sub>7</sub> и локального лордоза на уровне C<sub>1</sub>–C<sub>2</sub>. Полученные в результате построения регрессионных моделей формулы позволяют, используя значение TIA, возраст и пол ребенка, рассчитать теоретическую величину значений C<sub>2</sub>–C<sub>7</sub> и C<sub>1</sub>–C<sub>2</sub>. Это может помочь выявлять признаки как сагиттального дисбаланса, так и атлантоаксиальной нестабильности у разных групп детей, в том числе с синдромом Дауна. В данный момент полученные формулы носят теоретический характер и нуждаются в дополнительной валидации.

**Ключевые слова:** шейный сагиттальный баланс; шейный отдел позвоночника; дети; синдром Дауна; вертебрология.

Для цитирования: Кулешов А.А., Назаренко А.Г., Шаров В.А., Ветрилэ М.С., Овсянкин А.В., Кузьмина Е.С. Анализ взаимного влияния параметров шейного сагиттального баланса у детей в норме и с синдромом Дауна // Хирургия позвоночника. 2025. Т. 22, № 2. С. 55–65.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.2.55-65>

## ANALYSIS OF THE MUTUAL INFLUENCE OF CERVICAL SAGITTAL BALANCE PARAMETERS IN CHILDREN IN NORM AND WITH DOWN SYNDROME

A.A. Kuleshov<sup>1</sup>, A.G. Nazarenko<sup>1</sup>, V.A. Sharov<sup>1</sup>, M.S. Vetrile<sup>1</sup>, A.V. Ovsyankin<sup>2</sup>, E.S. Kuzminova<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Endoprosthetics, Smolensk, Russia

**Objective.** To analyze the correlations and dependencies of parameters of the cervical sagittal balance, as well as the corresponding compensatory mechanisms on the example of children without orthopedic pathology and children with Down syndrome.

**Material and Methods.** Digital radiographs of 110 children were used to evaluate the mutual influence of cervical sagittal balance parameters. The age range was 4–17 years. Group 1 included 60 children without identified orthopedic pathology: 26 boys and 34 girls, with an average age 11 years (7.0–14.0 years). Group 2 included 50 children with Down syndrome: 24 boys and 26 girls, with an average age 9 years (7.0–12.0 years). Based on the digital radiographs, eight key angular parameters of cervical sagittal balance were assessed: O–C<sub>2</sub>, O–C<sub>7</sub>, C<sub>1</sub>–C<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>–C<sub>7</sub>, C<sub>7</sub>S, T<sub>1</sub>S, TIA, NT. Statistical analysis of the data was performed using rank correlation analysis and multivariate regression.

**Results.** In the assessment of rank correlations, the leading positive correlation between the cervical lordosis and thoracic inlet angle (TIA) values was determined. Based on the results of multivariate regression, the main trends in the change in key angles of the cervical sagittal balance in children were determined. An increase in TIA by  $1^\circ$  leads to increase in the C2–C7 angle by an average of  $0.6^\circ$  ( $p = 0.004$ ) and the C1–C2 angle by  $0.4^\circ$  ( $p = 0.028$ ) for both girls and boys without identified orthopedic pathology. This rule is also equivalent when the TIA angle decreases with age. At the same time, girls have C2–C7 angle on average  $2.9^\circ$  ( $p = 0.021$ ) larger and C1–C2 angle  $1.2^\circ$  ( $p = 0.112$ ) larger than boys. Similar trends are true for children with Down syndrome, but with a less pronounced regression effect of factors. Thus, in children with Down syndrome, an increase in TIA by  $1^\circ$  is associated with a mean increase in the C2–C7 angle by  $0.5^\circ$  ( $p = 0.004$ ) and the C1–C2 angle by  $0.2^\circ$  ( $p = 0.035$ ). Girls have C2–C7 angle on average by  $3.1^\circ$  ( $p = 0.018$ ) larger than boys. A similar dependence could not be determined for the C1–C2 angle.

**Conclusion.** The cervical spine, despite its high mobility, has a clear connection with the underlying spine departments. In our work, we succeeded in proving that the thoracic inlet angle (TIA) having small variability for each specific child, is the basis for the formation of cervical lordosis C2–C7 and local lordosis at the level of C1–C2. The formulas obtained as a result of building the regression models allow, knowing the TIA value, the age and gender of the child, to calculate the theoretical value of C2–C7 and C1–C2 values. This may help to identify signs of both sagittal imbalance and atlantoaxial instability in different groups of children, including those with Down syndrome. At the moment, the obtained formulas are theoretical and need further validation.

**Key Words:** cervical sagittal balance; cervical spine; children; Down syndrome; vertebralology.

Please cite this paper as: Kuleshov AA, Nazarenko AG, Sharov VA, Vetrile MS, Ovsyankin AV, Kuzminova ES. Analysis of the mutual influence of cervical sagittal balance parameters in children in norm and with Down syndrome. Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2025;22(2):55–65. In Russian. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.2.55-65>

Детальное изучение естественных изгибов позвоночника, таких как поясничный лордоз, грудной кифоз и шейный лордоз, нашло свое отражение в концепции баланса позвоночника, сформулированной Dubousset [1], и в настоящее время имеет широкую популярность у исследователей по всему миру. Эта тенденция отражается в постоянно увеличивающемся количестве работ, посвященных данной тематике, и активном поиске оптимальной методологии исследования параметров, нормальных значений для разных групп пациентов и связи этих параметров друг с другом.

Шейный отдел позвоночника длительное время оставался без пристального изучения в рамках концепции сагиттального баланса в силу своей высокой мобильности и удаленности от позвоночно-тазового отдела, который в свою очередь исследовался достаточно подробно [1–3]. Вместе с тем сейчас количество работ, так или иначе затрагивающих тему шейного сагиттального баланса, увеличивается из года в год [4].

Большинство авторов акцентируют внимание на анализе параметров шейного сагиттального баланса как у бессимптомных добровольцев [5–8], так и у групп пациентов с различными нозологиями, главным образом дегенеративными заболеваниями позво-

ночника [9–15]. Также имеются работы, посвященные изменениям шейного сагиттального баланса у пациентов с болезнью Шейерманна [16] и различными типами идиопатического сколиоза [17–20]. Последней тенденцией в публикациях, посвященных шейному сагиттальному балансу, является поиск взаимосвязи параметров друг с другом и с нижележащими отделами позвоночника [3, 16, 21]. Вместе с тем ключевой особенностью абсолютного большинства работ данного направления является анализ параметров пациентов взрослого возраста. Публикации, посвященные шейному сагиттальному балансу у детей, единичны и, как правило, не несут четкой единой методологии изучения тех или иных параметров и их соотношений [3, 22–25].

При анализе корреляционных соотношений параметров, характеризующих шейный сагиттальный баланс, имеются указания на тесную биомеханическую связь верхнегрудного отдела позвоночника с величиной шейного лордоза и величиной лордоза на уровне C<sub>1</sub>–C<sub>2</sub> сегмента [3, 16, 23]. Охарактеризованы также возрастные изменения шейного сагиттального баланса у детей [3, 25]. Разнородность выборок и отсутствие единой методологии при анализе данных вносят некоторые

несоответствия между полученными результатами у разных авторов.

Данная публикация является логичным продолжением нашей недавней работы, посвященной анализу параметров шейного сагиттального баланса у детей в норме и синдромом Дауна [23]. В ее основу легла теория о наличии четких биомеханически обоснованных связей между ключевыми параметрами шейного сагиттального баланса и соответствующими механизмами компенсации при формировании естественных изгибов шеи.

Цель исследования – анализ корреляционных связей и зависимостей параметров шейного сагиттального баланса, а также соответствующих компенсаторных механизмов на примере детей без выявленной ортопедической патологии и детей с синдромом Дауна, исходно предрасположенных к развитию атлантоаксиальной нестабильности – одному из проявлений сагиттального дисбаланса в области шейного отдела позвоночника.

## Материал и методы

Материал исследования представлен рентгенограммами шейного отдела позвоночника, выполненными в боковой проекции в нейтральном положении 110 пациентам детского воз-

раста. Рентгенограммы отобраны из лучевого архива двух учреждений: Федерального центра травматологии, ортопедии и эндопротезирования (Смоленск) и НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова (Москва). Пациентов ретроспективно разделили на 2 группы.

Группу 1 составили пациенты, обратившиеся на амбулаторный прием в Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования (Смоленск) с жалобами на боль в спине, шейном отделе позвоночника или нарушение осанки. С целью исключения патологии опорно-двигательного аппарата данным пациентам выполняли постуральные рентгенограммы позвоночника и рентгенограммы шейного отдела. По результатам клинико-лучевого обследования специалисты расценили их состояние как отсутствие ортопедической патологии. Таким образом, критерии отбора были следующими:

- возраст от 4 до 17 лет включительно;
- способность самостоятельно сохранять вертикальное положение тела;
- успешное выполнение постуральных рентгенограмм позвоночника;
- отсутствие патологии опорно-двигательного аппарата по результатам постуральных рентгенограмм позвоночника в двух проекциях;
- отсутствие у пациента указаний на наличие какого-либо генетического синдрома.

Дополнительно пациентов распределили на подгруппы в соответствии с полом и возрастом.

Группа 2 была сформирована из детей, прошедших диспансерное обследование на предмет наличия патологии шейного отдела позвоночника на фоне синдрома Дауна в НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова (Москва). Всем детям выполняли рентгенографию шейного отдела позвоночника в боковой проекции. Для формирования конечной выборки из общего числа детей, прошедших обследование, были исключены пациенты с синдромом Дауна, у которых выявлены те или иные патологии шейного отде-

Таблица 1

Возрастная и половая характеристика пациентов групп 1 и 2

Параметры	Группа 1	Группа 2
Общее количество пациентов, n	60	50
Возрастной диапазон, лет	4–17	4–17
Средний возраст, лет	11	9
Распределение по полу (мальчики : девочки)	26 : 34	24 : 26
Возрастные подгруппы, n		
4–7 лет	17	16
8–11 лет	19	18
12–17 лет	24	16

ла позвоночника. Критерии отбора в группу 2 были следующими:

- генетически подтвержденный синдром Дауна (любая из форм);
- возраст от 4 до 17 лет включительно;
- способность пациента самостоятельно сохранять вертикальное положение тела;
- успешное выполнение рентгенограмм шейного отдела позвоночника в боковой проекции;
- отсутствие патологии шейного отдела позвоночника по результатам рентгенографии шейного отдела позвоночника в боковой проекции.

Дополнительно пациентов также распределили на подгруппы в соответствии с полом и возрастом.

Характеристика пациентов групп 1 и 2 представлена в табл. 1.

Для всех пациентов рассчитали ключевые угловые параметры сагиттального баланса шейного отдела позвоночника, связанные с той или иной анатомической областью. Для характеристики верхнего локального шейного лордоза на уровне краниовертебрального перехода использовали параметры O–C<sub>2</sub>, C<sub>1</sub>–C<sub>2</sub>, для характеристики шейного лордоза – параметры O–C<sub>7</sub> и C<sub>2</sub>–C<sub>7</sub>, для соотношений шейного отдела позвоночника и грудной клетки – параметры C<sub>7</sub>S, Th<sub>1</sub>S, T1A и NT. Методика измерения параметров представлена на рис. 1.

С целью исключения погрешности, вносимой посредством использования различных программных

средств для изучения рентгенограмм, все измерения выполняли в лицензионной версии программы «RadiAnt DICOM Viewer», версия 2022.1 (64 bit) (Copyright© 2009–2023, Medixant).

Статистический анализ данных и визуализацию проводили с помощью языка статистического программирования и среды R (версия 4.3.1) в IDE RStudio (версия 2023.09.0). Соответствие выборки нормальному распределению определяли с помощью теста Шапиро – Уилка. Ранговую корреляцию между количественными величинами вне нормального распределения оценивали с помощью коэффициента корреляции Спирмена, рас-

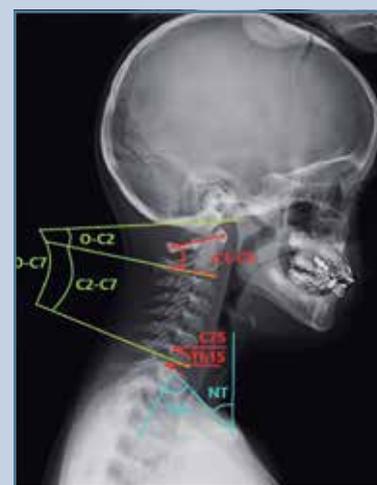


Рис. 1

Методика измерения параметров шейного сагиттального баланса

пределенных нормально – с помощью коэффициента Пирсона. Для выявления связи между категориальной величиной (пол) и количественными величинами использовали точечно-бисериальную корреляцию. Также для оценки множественных взаимодействий величин и определения скрытых паттернов выполняли многофакторный регрессионный анализ. Нулевую гипотезу в статистических тестах отклоняли при уровне значимости  $p < 0,05$ .

**Результаты**

Проверка на нормальность распределения критериев в выборке с использованием теста Шапиро – Уилка выявила, что в группе 1 наблюдается нормальное распределение ( $p > 0,05$ ) для следующих параметров: угол  $O-C_7$ , наклон  $C_7$  ( $C_7S$ ), наклон  $Th_1$  ( $Th_1S$ ), ТИА, NT. Распределение отклоняется от нормального ( $p < 0,05$ ) для параметров: возраст, угол  $O-C_2$ , угол  $C_1-C_2$ , угол  $C_2-C_7$ . В группе 2 наблюдается нормальное распределение ( $p > 0,05$ ) для параметров: угол  $O-C_2$  и наклона  $Th_1$  ( $Th_1S$ ). Остальные параметры ( $O-C_7$ ,  $C_1-C_2$ ,  $C_2-C_7$ ,  $C_7S$ , ТИА, NT) имеют распределение, отличающееся от нормального ( $p < 0,05$ ).

Для каждой из групп и возрастных подгрупп пациентов рассчитали средние величины параметров шейного сагиттального баланса с использованием медианы и квартилей. Средние значения каждого из параметров представлены в нашей предыдущей работе [23].

В каждой группе пациентов проанализировали ранговые корреляционные взаимосвязи между всеми параметрами с использованием коэффициентов корреляции Спирмена, Пирсона и точечно-бисериальной корреляции. В результате анализа получены данные о наиболее значимых корреляционных связях в группе 1 (дети без выявленной ортопедической патологии). Наиболее выраженная связь отмечается между углами наклона  $C_7$ ,  $Th_1$  позвонков и углом входа в грудную клетку ТИА, что обусловлено тесной анатомиче-

Таблица 2

Распределение наиболее значимых ранговых корреляций в группе 1

Параметр 1	Параметр 2	Коэффициент	Метод	p-value
Возраст	Угол $O-C_7$	-0,37	Спирмен	0,003
Пол	Угол $C_2-C_7$	-0,30	Точечно-бисериальная корреляция	0,021
Пол	Наклон $C_7$	-0,29	Точечно-бисериальная корреляция	0,024
Пол	Наклон $Th_1$	-0,28	Точечно-бисериальная корреляция	0,028
Угол $O-C_2$	Угол $O-C_7$	0,51	Спирмен	<0,001
Угол $O-C_2$	Угол $C_1-C_2$	0,64	Спирмен	<0,001
Угол $O-C_7$	Угол $C_1-C_2$	0,34	Спирмен	0,008
Угол $O-C_7$	Угол $C_2-C_7$	0,72	Спирмен	<0,001
Угол $O-C_7$	Наклон $C_7$	0,68	Пирсон	<0,001
Угол $O-C_7$	Наклон $Th_1$	0,66	Пирсон	<0,001
Угол $O-C_7$	ТИА	0,57	Пирсон	<0,001
Угол $C_2-C_7$	Наклон $C_7$	0,65	Спирмен	<0,001
Угол $C_2-C_7$	Наклон $Th_1$	0,64	Спирмен	<0,001
Угол $C_2-C_7$	ТИА	0,53	Спирмен	<0,001
Наклон $C_7$	Наклон $Th_1$	0,92	Пирсон	<0,001
Наклон $C_7$	ТИА	0,75	Пирсон	<0,001
Наклон $Th_1$	ТИА	0,74	Пирсон	<0,001
ТИА	NT	0,57	Пирсон	<0,001

Таблица 3

Распределение наиболее значимых ранговых корреляций в группе 2

Параметр 1	Параметр 2	Коэффициент	Метод	p-value
Возраст	Угол $O-C_7$	-0,45	Спирмен	0,001
Возраст	Наклон $C_7$	-0,49	Спирмен	<0,001
Возраст	Наклон $Th_1$	-0,49	Спирмен	<0,001
Возраст	ТИА	-0,59	Спирмен	<0,001
Возраст	NT	-0,39	Спирмен	0,005
Возраст	Угол $C_2-C_7$	-0,54	Спирмен	<0,001
Угол $O-C_2$	Угол $O-C_7$	0,44	Пирсон	0,001
Угол $O-C_2$	Угол $C_1-C_2$	0,65	Пирсон	<0,001
Угол $O-C_7$	Угол $C_1-C_2$	0,36	Пирсон	0,011
Угол $O-C_7$	Наклон $C_7$	0,70	Пирсон	<0,001
Угол $O-C_7$	Наклон $Th_1$	0,63	Пирсон	<0,001
Угол $O-C_7$	ТИА	0,34	Спирмен	0,016
Угол $O-C_7$	Угол $C_2-C_7$	0,85	Пирсон	<0,001
Угол $C_1-C_2$	Наклон $C_7$	0,30	Пирсон	0,032
Наклон $C_7$	Наклон $Th_1$	0,90	Пирсон	<0,001
Наклон $C_7$	ТИА	0,63	Спирмен	<0,001
Наклон $C_7$	Угол $C_2-C_7$	0,68	Пирсон	<0,001
Наклон $Th_1$	ТИА	0,71	Спирмен	<0,001
Наклон $Th_1$	Угол $C_2-C_7$	0,68	Пирсон	<0,001
ТИА	NT	0,70	Спирмен	<0,001
ТИА	Угол $C_2-C_7$	0,49	Спирмен	<0,001

ской связью этих параметров. Угол  $C_2-C_7$ , являющийся основной составной частью шейного лордоза, также значимо положительно коррелирует с углами наклона  $C_7$ ,  $Th_1$  позвонков и ТИА, что подтверждает определяющую роль входа в грудную клетку в формировании шейного лордоза. Угол  $C_1-C_2$  имеет умеренную положительную корреляцию с углом общего шейного лордоза  $O-C_7$ , поскольку является его составной частью. Отмечается связь углов  $O-C_7$ , и  $C_2-C_7$ , отвечающих за величину шейного лордоза, с полом и возрастом. Описать данную связь можно как тенденцию к уменьшению общего шейного лордоза с возрастом, более выраженную у мальчиков. Наиболее значимые ранговые корреляции в группе 1 ( $p < 0,05$ ) отражены в табл. 2.

В группе 2, представленной детьми с синдромом Дауна, отсутствовали значимые половые различия в изменении параметров, однако возрастные различия были более выраженными с сохранением общих тенденций к уменьшению шейного лордоза и ТИА с возрастом. Наиболее значимые ран-

говые корреляции в группе 2 ( $p < 0,05$ ) отражены в табл. 3.

Для детей с синдромом Дауна угол входа в грудную клетку (ТИА) также является базисом для формирования общего шейного лордоза, однако его влияние на окончательную величину шейного лордоза менее значимо:  $TIA - C_2-C_7 - r = 0,53$  (группа 1) и  $r = 0,49$  (группа 2);  $TIA - O-C_7 - r = 0,57$  (группа 1) и  $r = 0,34$  (группа 2). Поскольку составными частями угла  $O-C_7$  являются углы  $O-C_2$  и  $C_2-C_7$ , влияние ТИА на общий шейный лордоз  $O-C_7$  статистически значимо снижено именно из-за опосредованного воздействия на краниовертебральный переход ( $O-C_2$ ). Описанные корреляции свидетельствуют о большей вариативности углов в области краниовертебральной зоны ( $O-C_2$ ,  $C_1-C_2$ ) у детей с синдромом Дауна, что подтверждается множеством эмпирических наблюдений, описывающих предрасположенность этой группы детей к атлантоаксиальной нестабильности. Схематичная визуализация взаимного влияния параметров шейного

сагиттального баланса в обеих группах представлена на рис. 2, 3.

Для поиска многофакторных взаимодействий параметров, а также скрытых паттернов влияния групп параметров друг на друга для каждой из исследуемых групп был проведен многофакторный регрессионный анализ с построением соответствующих моделей. При анализе ключевыми группами факторов, влияющих на формирование нижнего шейного лордоза ( $C_2-C_7$ ) и локального шейного лордоза на уровне краниовертебрального перехода ( $C_1-C_2$ ), были определены возраст, пол и угол входа в грудную клетку ТИА. На начальном этапе анализа была построена регрессионная модель изменения ТИА в зависимости от пола и возраста для обеих групп (рис. 4, 5).

В результате анализа регрессии определяется общая тенденция к снижению ТИА с возрастом с выраженной половым деморфизмом у детей в норме.

Далее построили регрессионные модели зависимости угла  $C_2-C_7$  от возраста и пола для обеих групп (рис. 6, 7)

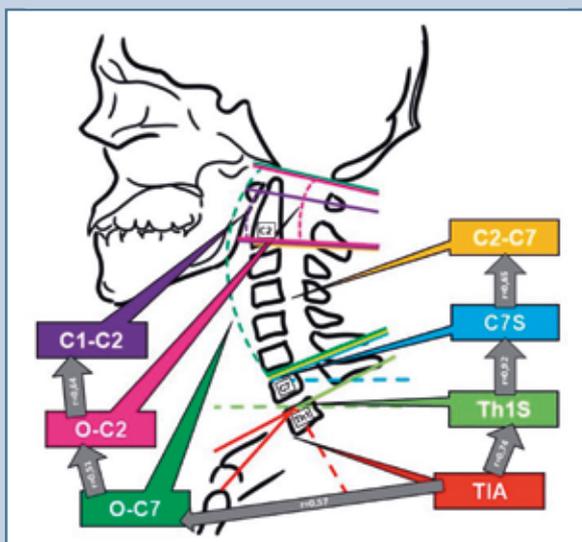


Рис. 2

Схема взаимного влияния параметров шейного сагиттального баланса в группе 1

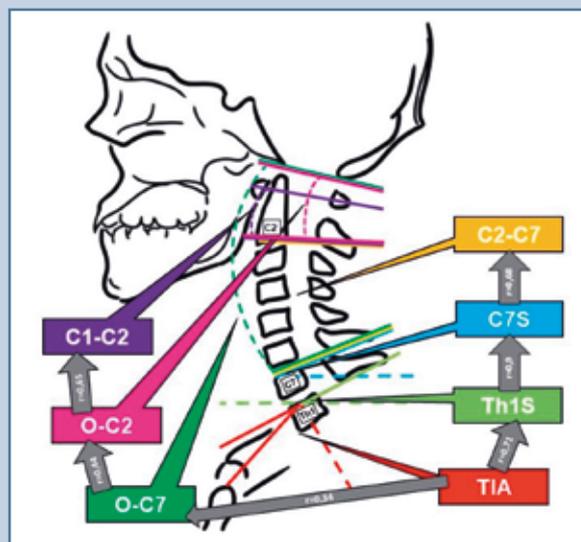


Рис. 3

Схема взаимного влияния параметров шейного сагиттального баланса в группе 2

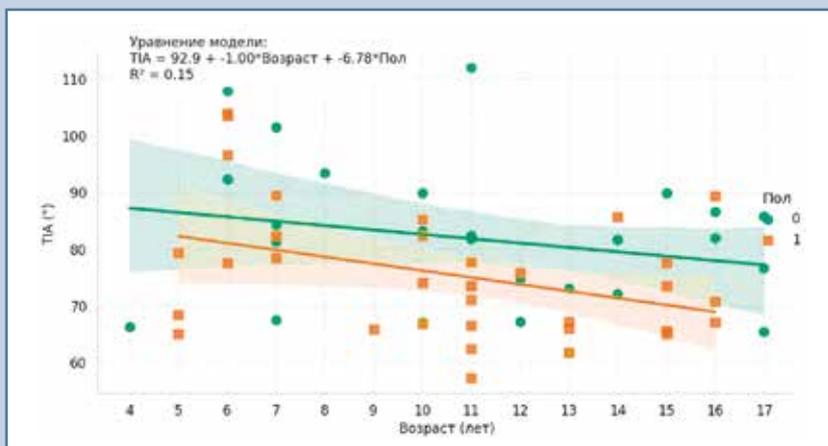


Рис. 4

График регрессии ТИА от возраста и пола в группе 1: зеленый цвет – мальчики, оранжевый – девочки

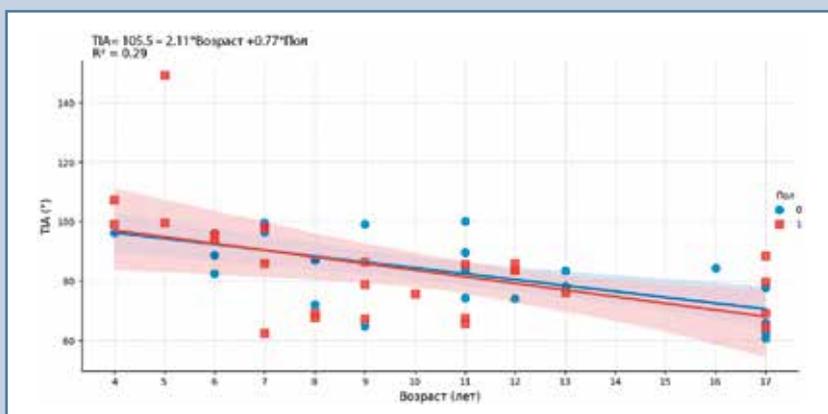


Рис. 5

График регрессии ТИА от возраста и пола в группе 2: синий цвет – мальчики, красный – девочки

Аналогично с изменением ТИА с возрастом отмечается тенденция к уменьшению угла  $C_2-C_7$ . Также наблюдается отсутствие выраженного полового деморфизма у детей с синдромом Дауна, что подтверждается ранее описанным изучением ранговых корреляций.

Для наиболее вариабельного параметра (угла  $C_1-C_2$ ) также выполнено построение регрессионной модели для определения тенденций в изменении этого параметра с возрастом (рис. 8, 9).

Данная регрессия выявила малую вариативность угла  $C_1-C_2$  как у мальчиков, так и у девочек в норме. При этом в группе детей с синдромом Дауна вариативность выражена больше, в том числе и за счет полового деморфизма. По результатам регрессии можно сделать заключение о большей стабильности между  $C_1$  и  $C_2$  позвонками у детей без синдрома Дауна, что в первую очередь можно связать с отсутствием у этой группы предрасположенности к гипермобильности стабилизирующего связочного аппарата в этой области.

По результатам многофакторной регрессии можно сформировать основные тенденции в изменении ключевых углов шейного сагиттального баланса у детей. Увеличение ТИА на  $1^\circ$  приводит к увеличению угла  $C_2-C_7$  в среднем на  $0,6^\circ$  ( $p = 0,004$ ) и угла  $C_1-C_2$  на  $0,4^\circ$  ( $p = 0,028$ ) как у девочек, так и у мальчиков без выявленной ортопедической патологии. Это правило равноценно и при уменьшении угла ТИА с возрастом. Вместе с тем у девочек угол  $C_2-C_7$  в среднем на  $2,9^\circ$  ( $p = 0,021$ ) и угол  $C_1-C_2$  на  $1,2^\circ$  ( $p = 0,112$ ) больше, чем у мальчиков.

Для детей с синдромом Дауна справедливы аналогичные тенденции, однако с менее выраженным регрессионным влиянием факторов. Так, у детей с синдромом Дауна увеличение ТИА на  $1^\circ$  связано со средним ростом угла  $C_2-C_7$  на  $0,5^\circ$  ( $p = 0,004$ ) и угла  $C_1-C_2$  на  $0,2^\circ$  ( $p = 0,035$ ). У девочек угол  $C_2-C_7$  в среднем на  $3,1^\circ$  ( $p = 0,018$ ) больше, чем у мальчиков. Для угла  $C_1-C_2$  аналогичную зависимость определить не удалось.

С учетом полученных коэффициентов регрессии сформировали теоретические формулы для расчета углов  $C_2-C_7$  и  $C_1-C_2$ , основанные на значениях ТИА, пола и возраста.

Для мальчиков без выявленной ортопедической патологии формула для расчета угла  $C_1-C_2$ :  $(18,2 + 0,5 \times \text{Возраст} + 0,4 \times \text{ТИА}) \pm 8,7$ ; доверительный интервал (95 %):  $\pm 8,7^\circ$  (стандартная ошибка модели:  $\sigma = 4,43^\circ$ ;  $t = 1,96$ ). Для угла  $C_2-C_7$ :  $(-10,8 + 1,7 \times \text{Возраст} + 0,6 \times \text{ТИА}) \pm 11,3$ ; доверительный интервал (95 %):  $\pm 11,3^\circ$  (стандартная ошибка модели:  $\sigma = 5,77^\circ$ ;  $t = 1,96$ ).

Для девочек без выявленной ортопедической патологии формула для расчета угла  $C_1-C_2$ :  $(16,8 + 0,6 \times \text{Возраст} + 0,3 \times \text{ТИА}) \pm 9,5$ ; доверительный интервал (95 %):  $\pm 9,5^\circ$  (стандартная ошибка модели:  $\sigma = 4,85^\circ$ ;  $t = 1,96$ ). Для угла  $C_2-C_7$ :  $(-12,4 + 1,9 \times \text{Возраст} + 0,7 \times \text{ТИА}) \pm 12,8$ ; доверительный интервал (95 %):  $\pm 12,8^\circ$  (стандартная ошибка модели:  $\sigma = 6,53^\circ$ ;  $t = 1,96$ ).

Для мальчиков с синдромом Дауна формула для расчета угла  $C_1-C_2$ :

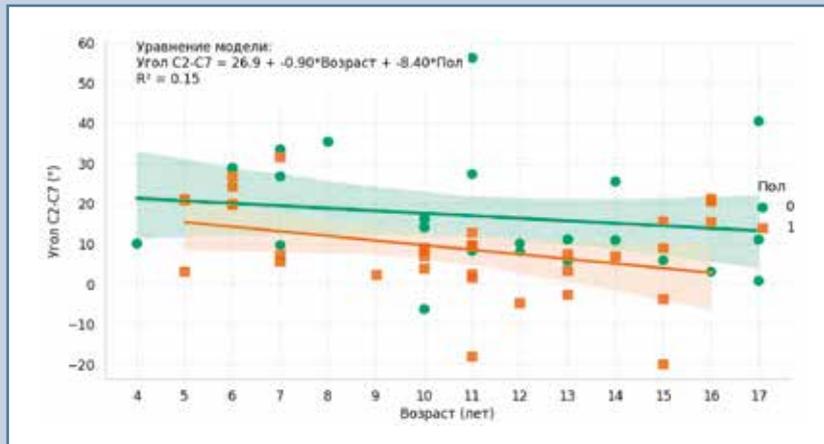


Рис. 6

График регрессии угла  $C_2-C_7$  от возраста и пола в группе 1: зеленый цвет – мальчики, оранжевый – девочки

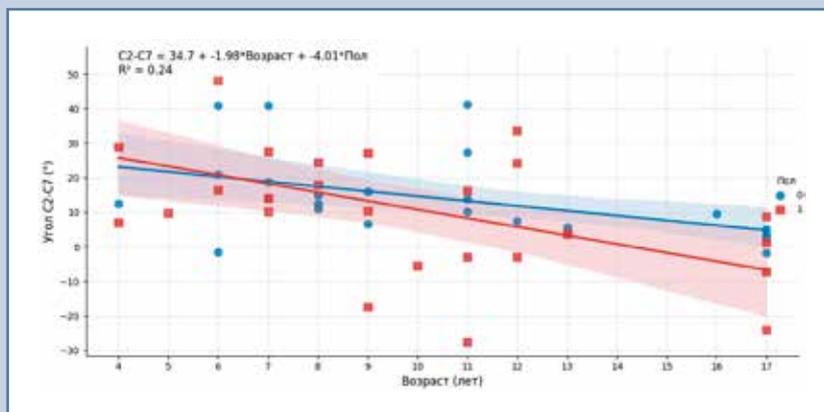


Рис. 7

График регрессии угла  $C_2-C_7$  от возраста и пола в группе 2: синий цвет – мальчики, красный – девочки

$(20,4 + 0,8 \times \text{Возраст} + 0,45 \times \text{ТИА}) \pm 9,8$ ; доверительный интервал (95 %):  $\pm 9,8^\circ$  (стандартная ошибка модели:  $\sigma = 5,0^\circ$ ;  $t = 1,96$ ). Для угла  $C_2-C_7$ :  $(-7,2 + 2,3 \times \text{Возраст} + 0,65 \times \text{ТИА}) \pm 12,7$ ; доверительный интервал (95 %):  $\pm 12,7^\circ$  (стандартная ошибка модели:  $\sigma = 6,5^\circ$ ;  $t = 1,96$ ).

Для девочек с синдромом Дауна формула для расчета угла  $C_1-C_2$ :  $(18,6 + 0,65 \times \text{Возраст} + 0,35 \times \text{ТИА}) \pm 8,5$ ; доверительный интервал (95 %):  $\pm 8,5^\circ$  (стандартная ошибка модели:  $\sigma = 4,35^\circ$ ;  $t = 1,96$ ). Для угла  $C_2-C_7$ :  $(-5,0 + 1,9 \times \text{Возраст} + 0,55 \times \text{ТИА}) \pm 11,2$ ; дове-

рительный интервал (95 %):  $\pm 11,2^\circ$  (стандартная ошибка модели:  $\sigma = 5,7^\circ$ ;  $t = 1,96$ ).

Применение полученных формул при расчете теоретических параметров шейного сагиттального баланса может помочь в раннем выявлении предикторов функциональных и анатомических патологий шейного отдела позвоночника у детей. Особое внимание стоит уделять кифозированию угла  $C_1-C_2$  как одному из предикторов атлантаоаксиальной нестабильности, в особенности у детей с синдромом

Дауна. Вместе с тем важно отметить, что полученные формулы на данном этапе накопления и обработки данных носят теоретический характер и нуждаются в дополнительной валидации.

## Обсуждение

Взаимоотношения позвоночно-тазовых параметров (PI, PT, LL, SS и др.) и их влияние на грудной кифоз (ТК) были подробно изучены ранее во множестве работ. Сформированы различные формулы для расчета тех или иных параметров, позвоночно-тазовых соотношений. Базовой формулой, описывающей соотношения параметров таза и поясничного отдела позвоночника, является геометрическая зависимость наклона таза (PT) и наклона крестца (SS), выражаемая в виде тазового индекса (PI):  $PI = PT + SS$ , подтвержденная Schwab et al. [26], а также рядом других работ, посвященных позвоночно-тазовому балансу у детей и взрослых [27].

Berthonnaud et al. [28] и Roussouly et al. [29] в работах по изучению глобального сагиттального баланса пришли к заключению о наличии связи сагиттальных параметров смежных, а также отдельно взятых областей позвоночника, что позволило рассматривать таз и позвоночник как единую систему формирования физиологических изгибов позвоночника. Также они описали корреляции между величиной шейного лордоза и грудного кифоза [28, 29].

Lee et al. [30] провели анализ корреляционных связей и зависимостей при формировании ключевых параметров шейного сагиттального баланса на примере изучения рентгенограмм 77 взрослых добровольцев без патологии позвоночника. В результате исследования было доказано, что параметр угла входа в грудную клетку (ТИА) является относительно стабильным для каждого конкретного индивида и играет ключевую роль в формировании величины шейного лордоза. При этом его связь с локальным лордозом на уровне краниовертебрального перехода ( $C_1-C_2$ ) статистически

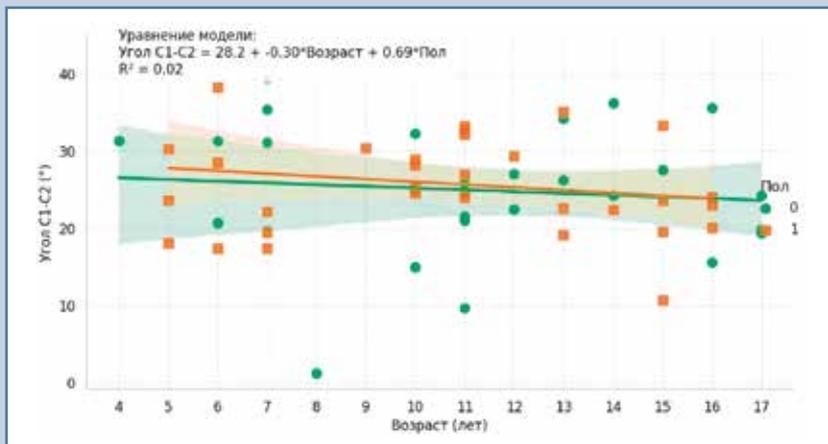


Рис. 8

График регрессии угла  $C_1-C_2$  от возраста и пола в группе 1: зеленый цвет – мальчики, оранжевый – девочки

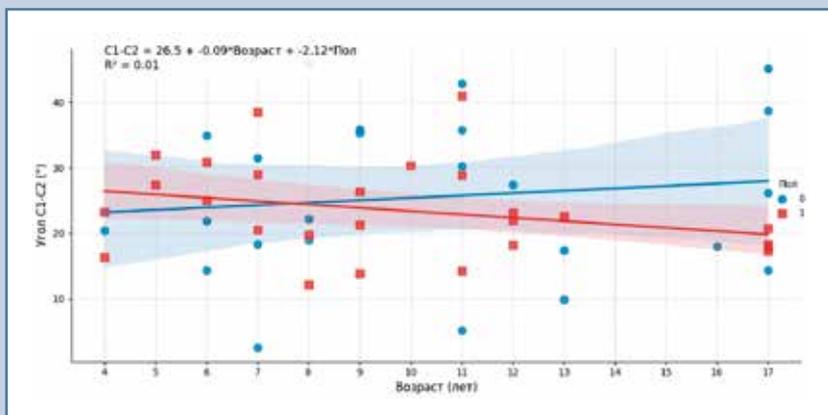


Рис. 9

График регрессии угла  $C_1-C_2$  от возраста и пола в группе 2: синий цвет – мальчики, красный – девочки

не была подтверждена, что может свидетельствовать о выраженной мобильности и вариативности этого угла в популяции. Авторы определили ключевую геометрическую зависимость между углом входа в грудную клетку (Т1А), наклоном шеи (NT) и наклоном  $Th_1$  позвонка ( $Th_1S$ ) в виде формулы:  $T1A = T_1S + NT$  [30]. Позднее Le Hues et al. [4] описали тесную корреляцию между углом наклона  $C_7$  позвонка ( $C_7S$ ) и величиной шейного лордоза ( $C_2-C_7$ ), тем самым еще раз подтвердив ключевую роль шейно-грудного

перехода в формировании шейного лордоза. Shao et al. [31] анализировали рентгенограммы 246 бессимптомных добровольцев с целью изучения ключевых параметров, влияющих на прогрессирование шейного сагиттального дисбаланса, которые они трактовали как изменения  $C_2C_7SVA$ . С помощью регрессионной модели авторы выяснили, что наиболее значимыми параметрами для прогрессирования сагиттального дисбаланса являются индекс массы тела, наклон глазных орбит (OS), угол  $O-C_2$ , вели-

чина шейного лордоза и наклон  $Th_1$  позвонка ( $Th_1S$ ). В результате исследования была получена соответствующая формула, учитывающая наиболее значимые параметры для прогрессирования сагиттального дисбаланса:  $C_2C_7SVA = 0,38 \times BMI - 0,73 \times OS + 0,73 \times C_0C_2 + 0,15 \times CL + 0,18 \times TS - 6,53$ . Авторы отмечают, что данное исследование может помочь хирургам более точно определить прогноз лечения при планировании реконструктивных хирургических вмешательств.

В 2020 г. Aljani и Rasouljan [21] опубликовали масштабное сравнительное исследование, посвященное анализу рентгенограмм 420 взрослых пациентов, разделенных на 4 группы по наличию симптомов заболеваний позвоночника. В результате исследования не было выявлено статистически значимых различий между бессимптомными, пациентами с симптомами и пациентами, которым было выполнено хирургическое лечение. Сагиттальная вертикальная ось  $C_7SVA$  коррелировала с величиной шейного лордоза ( $C_2-C_7$ ;  $r = 0,7$ ) во всех группах. Вне зависимости от группы при анализе всей выборки удалось выявить корреляцию угла  $C_1-C_2$  с величиной поясничного лордоза (LL;  $r = 0,1$ ) [21]. Данное заключение можно трактовать как еще одно доказательство того, что, несмотря на удаленность конкретных анатомических образований, позвоночник функционирует как единая система, с формированием естественных изгибов в рамках единых биомеханических законов.

Параллельно изучению параметров шейного сагиттального баланса у бессимптомных добровольцев либо пациентов с дегенеративными заболеваниями происходило накопление данных о сагиттальном профиле пациентов с различными диспластическими нарушениями. Наиболее изученными с этой точки зрения группами оказались пациенты с болезнью Шейерманна и идиопатическим сколиозом. Janusz et al. [16] при исследовании глобального сагиттального баланса у подростков и взрослых с болезнью Шейерманна пришли к выводу,

что вершина структурального кифоза значимо влияет на угол  $Th_1S$ , Т1А, NT и ведет к изменениям величины шейного лордоза  $C_2-C_7$ . В исследованиях, описывающих шейный сагиттальный баланс у пациентов со сколиозом, зафиксировано компенсаторное изменение параметров после выполнения реконструктивно-корректирующего вмешательства у значительной части пациентов [17–20].

Работы, в которых одной из исследуемых групп являются дети без выявленной ортопедической патологии, немногочисленны. В большинстве случаев это связано со сложностью этического обоснования показаний к рентгенологическому обследованию здоровых детей.

В 2012 г. Lee et al. [22] опубликовали кросс-секционное исследование с анализом рентгенограмм 181 ребенка, у которых в ходе обследования была исключена патология позвоночника и опорно-двигательного аппарата. В работе определена ключевая возрастная тенденция, связанная с увеличением грудного кифоза и шейного лордоза до 17 лет включительно. Вместе с тем у 40 % обследуемых детей наблюдался гиполордоз либо кифоз в шейном отделе. Важно подчеркнуть, что в этой работе впервые на столь большой когорте детей описана тесная взаимосвязь грудного и шейного отделов позвоночника как единого биомеханического компенсаторного регулятора для поддержания вертикального положения тела [22].

Д.А. Глухов с соавт. [2] также внесли значительный вклад в изучение шейного сагиттального баланса у детей. Они проанализировали 73 рентгенограммы шейного отдела позвоночника детей без выявленной ортопедической патологии. В ходе исследования были определены нормальные значения параметров шейного сагиттального баланса для детей и ключевые половые различия с оценкой соответствующих корреляционных связей. При сравнении параметров с нормальными показателями для взрослых были получены статистически достоверные различия по 6 из 10 исследуемых параметров.

Как правило, подобные исследования имеют ряд ограничений, наша работа не стала исключением. Главным ограничением данного исследования является отсутствие возможности заранее оценить мощность и размер выборки. Данную работу, являющуюся продолжением нашего предыдущего исследования [23], мы посвятили изучению механизмов взаимного влияния параметров шейного сагиттального баланса у детей. В качестве группы сравнения была выбрана когорта пациентов с синдромом Дауна, так как этот контингент является предрасположенным к различным проявлениям нарушений опорно-двигательного аппарата. В ходе исследования удалось доказать, что естественные изгибы позвоночника, описываемые параметрами сагиттального баланса, формируются у детей с синдромом Дауна по единому алгоритму, аналогично с детьми без выявленной ортопедической патологии. Вместе с тем влияние каждого ключевого сегмента при формировании шейного и локального лордоза на уровне  $C_1-C_2$  для детей с синдромом Дауна снижено. Это можно объяснить большей мобильностью связочного аппарата и гипотонией мышц шеи – характерными признаками синдрома Дауна.

В результате анализа мы пришли к выводу, что угол входа в грудную клетку (Т1А) является базовым для дальнейшего формирования всех компонентов шейного лордоза. Также имеются возрастные и половые отличия в величине ключевых параметров шейного сагиттального баланса ( $C_1-C_2$ ,  $C_2-C_7$ ). Выявленные зависимости позволили нам вывести соответствующие формулы для расчета углов  $C_1-C_2$  и  $C_2-C_7$  на основании значений Т1А и возраста для мальчиков и девочек с синдромом Дауна и для детей без выявленной ортопедической патологии. Применение данных формул может помочь при выявлении грубых отклонений в сагиттальном балансе шеи у детей, а также при поиске предикторов атлантоаксиальной нестабильности, при которой характерно локальное кифозирование в области  $C_1-C_2$  сегмента.

## Заключение

Работа по более глубокому изучению шейного сагиттального баланса, его связи с глобальным балансом, поиску методологии и практическому применению полученных данных должна быть продолжена. Сохраняется потребность в накоплении материала по анализу шейного сагиттального баланса как детей без ортопедической патологии, так и синдромальных пациентов с целью дальнейшего изучения и поиска подходов к применению полученных данных в клинической практике.

Шейный отдел позвоночника, несмотря на высокую мобильность, имеет четкую связь с нижележащими отделами. В нашей работе удалось доказать, что угол входа в грудную клетку (Т1А), имея малую вариативность для каждого конкретного ребенка, является базисом для формирования шейного лордоза  $C_2-C_7$  и локального лордоза на уровне  $C_1-C_2$ . Зная значение Т1А, а также возраст и пол ребенка, можно рассчитать теоретическую величину значений  $C_2-C_7$  и  $C_1-C_2$  – углов, образующих шейный лордоз. Полученные нами формулы расчета данных углов могут позволить выявлять признаки как сагиттального дисбаланса, так и атлантоаксиальной нестабильности у разнородных групп детей, в том числе с синдромом Дауна. Однако в настоящий момент описанные формулы носят теоретический характер и нуждаются в дополнительной валидации. Дальнейшее изучение шейного сагиттального баланса у детей позволит сделать формулы более точными и применимыми на практике для различных групп пациентов.

*Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом учреждения.*

*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, editor. *The Pediatric Spine: Principles and Practice*. New York, 1994:479–496.
- 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. [Glukhov DA, Zorin VI, Maltseva YA, Mushkin AYU. Sagittal balance of the cervical spine in children older than 4 years: what is the norm? *Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika)*. 2022;19(4):19–29]. DOI: 10.14531/ss2022.4.19-29
- 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
- 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
- Gore DR, Sepic SB, Gardner GM. Roentgenographic findings of the cervical spine in asymptomatic people. *Spine*. 1986;11:521–524. DOI: 10.1097/00007632-198607000-00003
- Hardacker JW, Shuford RE, Capicotto PN, Pryor PW. Radiographic standing cervical segmental alignment in adult volunteers without neck symptoms. *Spine*. 1997;22:1472–1480. DOI: 10.1097/00007632-199707010-00009
- Okada E, Matsumoto M, Ichihara D, Chiba K, Toyama Y, Fujiwara H, Momoshima S, Nishiwaki Y, Hashimoto T, Ogawa J, Watanabe M, Takahata T. Does the sagittal alignment of the cervical spine have an impact on disk degeneration? Minimum 10-year follow-up of asymptomatic volunteers. *Eur Spine J*. 2009;18:1644–1651. DOI: 10.1007/s00586-009-1095-5
- Kim SW, Kim TH, Bok DH, Jang C, Yang MH, Lee S, Yoo JH, Kwak YH, Oh JK. Analysis of cervical spine alignment in currently asymptomatic individuals: prevalence of kyphotic posture and its relationship with other spinopelvic parameters. *Spine J*. 2018;18:797–810. DOI: 10.1016/j.spinee.2017.09.008
- Sakai K, Yoshii T, Hirai T, Arai Y, Shinomiya K, Okawa A. Impact of the surgical treatment for degenerative cervical myelopathy on the preoperative cervical sagittal balance: a review of prospective comparative cohort between anterior decompression with fusion and laminoplasty. *Eur Spine J*. 2017;26:104–112. DOI: 10.1007/s00586-016-4717-8
- Choi CS, Lee DH, Hwang CJ, Son SM, Woo Y, Goh TS, Kang SW, Lee JS. Effectiveness of C2 incidence angle for evaluating global spinopelvic alignment in patients with mild degenerative spondylosis. *World Neurosurg*. 2019;127:e826–e834. DOI: 10.1016/j.wneu.2019.03.274
- Weng C, Wang J, Tuchman A, Wang J, Fu C, Hsieh PC, Buser Z, Wang JC. Influence of T1 slope on the cervical sagittal balance in degenerative cervical spine: an analysis using kinematic MRI. *Spine*. 2016;41:185–190. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001353
- Machino M, Yukawa Y, Imagawa S, Ito K, Katayama Y, Matsumoto T, Inoue T, Uchida J, Tomita K, Ishiguro N, Kato F. Age-related and degenerative changes in the osseous anatomy, alignment, and range of motion of the cervical spine: a comparative study of radiographic data from 1016 patients with cervical spondylotic myelopathy and 1230 symptomatic subjects. *Spine*. 2016;41:476–482. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001237
- Sun J, Zhao HW, Wang JJ, Xun L, Fu NX, Huang H. Diagnostic value of T1 slope in degenerative cervical spondylotic myelopathy. *Med Sci Monit*. 2018;24:791–796. DOI: 10.12659/msm.906417
- Елисеев А.С., Боков А.Е., Млявых С.Г. Параметры сагиттального баланса после передней шейной дискэктомии со спондилодезом и артропластики эндопротезом «Эндокарбон»: результаты рандомизированного исследования // Современные технологии в медицине. 2022. Т. 14, № 4. С. 50–59. [Eliseev AS, Bokov AE, Mlyavykh SG. Sagittal balance parameters after anterior cervical discectomy with spondylodesis and arthroplasty using endocarbon endoprosthesis: results of randomized study. *Modern Technologies in Medicine (Sovremennyye Technologii v Medicine)*. 2022;14(4):50–59]. DOI: 10.17691/stm2022.14.4.06
- Бурцев А.В., Рябых С.О., Котельников А.О., Губин А.В. Клинические аспекты сагиттального баланса у взрослых // Гений ортопедии. 2017. Т. 23, № 2. С. 228–235. [Burtsev A, Ryabykh S, Kotelnikov A, Gubin A. Clinical issues of the sagittal balance in adults. *Genij Ortopedii*. 2017;23(2):228–235]. DOI: 10.18019/1028-4427-2017-23-2-228-235
- Janusz P, Tyrakowski M, Kotwicki T, Siemionow K. Cervical sagittal alignment in Scheuermann disease. *Spine*. 2015;40:E1226–E1232. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001129
- Shaw KA, Murphy JS. Compensatory or pathologic? - cervical spine sagittal alignment in adolescent idiopathic scoliosis. *J Spine Surg*. 2019;5:174–175. DOI: 10.21037/jss.2019.01.01
- Wang L, Liu X. Cervical sagittal alignment in adolescent idiopathic scoliosis patients (Lenke type 1–6). *J Orthop Sci*. 2017;22:254–259. DOI: 10.1016/j.jjos.2016.12.006
- Garg B, Mehta N, Gupta A, Sugumar PAA, Shetty AP, Basu S, Jakkepally S, Gowda SD, Babu JN, Chhabra HS. Cervical sagittal alignment in Lenke 1 adolescent idiopathic scoliosis and assessment of its alteration with surgery: a retrospective, multicentric study. *Spine Deform*. 2021;9:1559–1568. DOI: 10.1007/s43390-021-00366-8
- Айкак В, Айхан С, Юксел С, Гюлер УО, Пеллисе Ф, Аланай А, Перез-Груесо Ф, Акароглу Е. Сагиттальный баланс шейного отдела позвоночника у детей с идиопатической сколиозом. *Eur Spine J*. 2015;24:1175–1182. DOI: 10.1007/s00586-015-3868-3
- Алижани В, Расулиан Дж. Сагиттальный баланс шейного отдела позвоночника: радиологический анализ взаимосвязи между окципитоцервикальным и спинопелвическим выравниванием. *Asian Spine J*. 2020;14:287–297. DOI: 10.31616/asj.2019.0165
- 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:E259–63. DOI: 10.1097/BSD.0b013e318261f346
- Кулешов А.А., Назаренко А.Г., Шаров В.А., Ветрилэ М.С., Овсянкин А.В., Кузьмина Е.С., Лисянский И.Н., Макаров С.Н., Струнина Ю.В. Сравнительная характеристика параметров шейного сагиттального баланса и критериев атлантаксиальной нестабильности у детей в норме и с синдромом Дауна // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2024. Т. 31, № 1. С. 55–66. [Kuleshov AA, Nazarenko AG, Sharov VA, Vetrile MS, Ovsyankin AV, Kuzminova ES, Lisyanskiy IN, Makarov SN, Strunina UV. Comparative characteristics of cervical sagittal balance parameters and atlantoaxial instability criteria in normal and Down syndrome children. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2024;31(1):55–66]. DOI: 10.17816/vto624245
- Shen XL, Tian Y, Zhou XH, Ren D, Cao P, Yuan W. A radiographic analysis of cervical sagittal alignment in adolescent idiopathic cervical kyphosis. *Clin Spine Surg*. 2017;30:E560–E566. DOI: 10.1097/BSD.0000000000000257
- 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
- Schwab F, Lafage V, Boyce R, Skalli W, Farcy JP. Gravity line analysis in adult volunteers: age-related correlation with spinal parameters, pelvic parameters, and foot position. *Spine*. 2006;31:E959–E967. DOI: 10.1097/01.brs.0000248126.96737.0f
- Mac-Thiong JM, Labelle H, Berthodnaud E, Betz RR, Roussouly P. Sagittal spinopelvic balance in normal children and adolescents. *Eur Spine J*. 2007;16:227–234. DOI: 10.1007/s00586-005-0013-8

28. Berthonnaud E, Dimnet J, Roussouly P, Labelle H. Analysis of the sagittal balance of the spine and pelvis using shape and orientation parameters. *J Spinal Disord Tech.* 2005;18:40–47. DOI: 10.1097/01.bsd.0000117542.88865.77
29. Roussouly P, Gollogly S, Noseda O, Berthonnaud E, Dimnet J. The vertical projection of the sum of the ground reactive forces of a standing patient is not the same as the C7 plumb line: a radiographic study of the sagittal alignment of 153 asymptomatic volunteers. *Spine.* 2006;31:E320–E325. DOI: 10.1097/01.brs.0000218263.58642.ff
30. 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
31. Shao ZX, Yan YZ, Pan XX, Chen SQ, Fang X, Chen XB, Wu AM, Wang XY. Factors associated with cervical spine alignment in an asymptomatic population: a preliminary analysis. *World Neurosurg.* 2019;122:e48–e58. DOI: 10.1016/j.wneu.2018.09.036

**Адрес для переписки:**

Шаров Владислав Андреевич  
127299, Россия, Москва, ул. Приорова, 10,  
НМИЦ травматологии и ортопедии  
имени Н.Н. Приорова,  
sharov.vlad397@gmail.com

Статья поступила в редакцию 12.03.2025

Рецензирование пройдено 26.05.2025

Подписано в печать 28.05.2025

**Address correspondence to:**

Sharov Vladislav Andreyevich  
N.N. Priorov National Medical Research Center  
of Traumatology and Orthopedics,  
10 Priorova str., Moscow, 127299, Russia,  
sharov.vlad397@gmail.com

Received 12.03.2025

Review completed 26.05.2025

Passed for printing 28.05.2025

Александр Алексеевич Кулешов, д-р мед. наук, врач-травматолог-ортопед, заведующий отделением вертебологии, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, 10, eLibrary SPIN: 7052-0220, ORCID: 0000-0002-9526-8274, cito-spine@mail.ru;

Антон Герасимович Назаренко, д-р мед. наук, профессор, врач-травматолог-ортопед, директор, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, 10, eLibrary SPIN: 1402-5186, ORCID: 0000-0003-1314-2887, cito@cito-priorov.ru;

Владислав Андреевич Шаров, врач-травматолог-ортопед, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, 10, eLibrary SPIN: 8062-9216, ORCID: 0000-0002-0801-0639, sharov.vlad397@gmail.com;

Марчел Степанович Ветрилэ, заместитель директора по организации образовательной и научной деятельности, врач-травматолог-ортопед, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, 10, eLibrary SPIN: 9690-5117, ORCID: 0000-0001-6689-5220, e-mail: vetrilams@cito-priorov.ru

Анатолий Васильевич Овсянкин, канд. мед. наук, врач-травматолог-ортопед, Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования, Россия, 214019, Смоленск, пр. Строителей, 29, eLibrary SPIN: 4417-3617, ORCID: 0000-0002-0779-091X, ovsjankin@rambler.ru;

Елена Станиславовна Кузьмина, врач-травматолог-ортопед, Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования, Россия, 214019, Смоленск, пр. Строителей, 29, eLibrary SPIN: 5992-6657, ORCID: 0000-0003-2876-6844, muxuxo@gmail.com.

Alexander Alekseyevich Kuleshov, DMSc, trauma orthopedist, Head of the Department of Vertebrology, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, 10 Priorova str., Moscow, 127299, Russia, eLibrary SPIN: 7052-0220, ORCID: 0000-0002-9526-8274, cito-spine@mail.ru;

Anton Gerasimovich Nazarenko, DMSc, Prof., trauma orthopedist, Director, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, 10 Priorova str., Moscow, 127299, Russia, eLibrary SPIN: 1402-5186, ORCID: 0000-0003-1314-2887, cito@cito-priorov.ru;

Vladislav Andreyevich Sharov, trauma orthopedist, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, 10 Priorova str., Moscow, 127299, Russia, eLibrary SPIN: 8062-9216, ORCID: 0000-0002-0801-0639, sharov.vlad397@gmail.com;

Marchel Stepanovich Vetrile, Deputy Director for Educational and Scientific Activities, trauma orthopedist, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, 10 Priorova str., Moscow, 127299, Russia, eLibrary SPIN: 9690-5117, ORCID: 0000-0001-6689-5220, e-mail: vetrilams@cito-priorov.ru;

Anatoliy Vasilyevich Ovsyankin, MD, PhD, trauma orthopedist, Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Endoprosthetics, 29 Stroiteley Ave., Smolensk, 214019, Russia, eLibrary SPIN: 4417-3617, ORCID: 0000-0002-0779-091X, ovsjankin@rambler.ru;

Elena Stanislavovna Kuzminova, trauma orthopedist, Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Endoprosthetics, 29 Stroiteley Ave., Smolensk, 214019, Russia, eLibrary SPIN: 5992-6657, ORCID: 0000-0003-2876-6844, muxuxo@gmail.com.