

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto624245>

Сравнительная характеристика параметров шейного сагиттального баланса и критериев атлантоаксиальной нестабильности у детей в норме и с синдромом Дауна

А.А. Кулешов¹, А.Г. Назаренко¹, В.А. Шаров¹, М.С. Ветрилэ¹, А.В. Овсянкин²,
Е.С. Кузьминова², И.Н. Лисянский¹, С.Н. Макаров¹, Ю.В. Струнина³

¹ Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Москва, Россия;

² Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования, Смоленск, Россия;

³ Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии им. академика Н.Н. Бурденко, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Концепция сагиттального баланса позвоночника получила значительное развитие в последние годы, но абсолютное большинство работ посвящено оценке позвоночно-тазовых параметров. Шейному отделу позвоночника длительное время уделялось недостаточно внимания со стороны исследователей, однако сейчас эта тенденция изменяется. Изучение шейного сагиттального баланса у детей с синдромом Дауна может помочь приблизиться к предпосылкам развития атлантоаксиальной нестабильности.

Цель. Провести сравнительный анализ параметров шейного сагиттального баланса и критериев атлантоаксиальной нестабильности у детей в норме и с синдромом Дауна.

Материалы и методы. Проведён ретроспективный анализ рентгенограмм шейного отдела позвоночника в нейтральном положении в боковой проекции, а также постуральных рентгенограмм 110 пациентов детского возраста. Пациенты разделены на две группы. Группа 1 (норма) — 60 детей в возрасте от 4 до 17 лет без патологии позвоночника. Группа 2 (синдром Дауна) — 50 детей в возрасте от 4 до 17 лет с синдромом Дауна. Были рассчитаны параметры шейного сагиттального баланса (Ос-С2, Ос-С7, С1-С2, С2-С7, С2-С7Н, С7S, Th1S, T1A, NT) и критерии атлантоаксиальной нестабильности (угол Nakamura, ADI, SAC-C1, SAC-C1/SAC-C4) и проведён статистический анализ данных.

Результаты. Были выявлены статистически значимые различия в параметрах С7S, Th1S, T1A в сторону их увеличения у детей с синдромом Дауна. Эти параметры участвуют в формировании шейного лордоза, однако статистически значимых различий в угловых показателях шейного лордоза выявлено не было. Также были обнаружены статистически значимые различия в критериях атлантоаксиальной нестабильности ADI, SAC-C1, SAC-C1/SAC-C4 в сторону их уменьшения у детей с синдромом Дауна.

Заключение. У пациентов с синдромом Дауна показатели, формирующие шейный лордоз, статистически больше, чем у детей в норме. При этом угловые параметры шейного лордоза у них не отличаются от таковых у здоровых детей, следовательно, при флексии шейный отдел позвоночника у детей с синдромом Дауна находится в субкомпенсации. Учитывая статистически меньшие показатели ADI, SAC-C1, SAC-C1/SAC-C4, низкий тонус мышц шеи и гипермобильность связочного аппарата, можно считать полученные отклонения врождёнными факторами предрасположенности к атлантоаксиальной нестабильности у детей с синдромом Дауна.

Ключевые слова: шейный сагиттальный баланс; синдром Дауна; шейный отдел позвоночника; атлантоаксиальная нестабильность; зубовидная кость.

Как цитировать:

Кулешов А.А., Назаренко А.Г., Шаров В.А., Ветрилэ М.С., Овсянкин А.В., Кузьминова Е.С., Лисянский И.Н., Макаров С.Н., Струнина Ю.В. Сравнительная характеристика параметров шейного сагиттального баланса и критериев атлантоаксиальной нестабильности у детей в норме и с синдромом Дауна // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2024. Т. 31, № 1. С. 55–66. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto624245>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto624245>

Comparative characteristics of cervical sagittal balance parameters and atlantoaxial instability criteria in normal and Down syndrome children

Alexander A. Kuleshov¹, Anton G. Nazarenko¹, Vladislav A. Sharov¹,
Marchel S. Vetrile¹, Anatoliy V. Ovsyankin², Elena S. Kuzminova², Igor N. Lisyansky¹,
Sergey N. Makarov¹, Uliya V. Strunina³

¹ Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia;

² Federal Center of Traumatology, Orthopedics and Joint Replacement, Smolensk, Russia;

³ Burdenko National Scientific and Practical Center for Neurosurgery, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Sagittal balance of the spine has received considerable development in recent years. However, most studies focused on the assessment of vertebral–pelvic parameters. The cervical spine has long received insufficient attention from researchers, but this trend has been changing. The study of cervical sagittal balance in children with Down syndrome is beneficial in approaching the preconditions of atlantoaxial instability.

AIM: To perform a comparative analysis of cervical sagittal balance parameters and atlantoaxial instability criteria in normal and Down syndrome children.

MATERIALS AND METHODS: Radiographs of the cervical spine in the neutral position in lateral projection and postural radiographs of 110 pediatric patients were analyzed retrospectively. The patients were divided into two groups: group 1 (normal), 60 children aged 4–17 years without spinal pathology, and group 2 (Down syndrome), 50 children aged 4–17 years with Down syndrome. The parameters of cervical sagittal balance (Oc-C2, Oc-C7, C1-C2, C2-C7, C2-C7H, C7S, Th1S, TIA, NT) and criteria for atlantoaxial instability (Nakamura angle, ADI, SAC-C1, SAC-C1/SAC-C4) were obtained, and data was statistically analyzed.

RESULTS: Significant differences in the parameters C7S, Th1S, and TIA increased in children with Down syndrome. These parameters are involved in cervical lordosis; however, no significant differences in cervical lordosis angles were found. Furthermore, significant differences were noted in the criteria of atlantoaxial instability ADI, SAC-C1, and SAC-C1/SAC-C4 toward their decreasing in children with Down syndrome.

CONCLUSION: In patients with Down syndrome, the indices of cervical lordosis are statistically greater than those in normal children. Moreover, the parameters of cervical lordosis in patients with Down syndrome do not differ from those in normal children. Therefore, during flexion, subcompensation of the cervical spine is observed in children with Down syndrome. Given the statistically smaller indicators ADI, SAC-C1, SAC-C1/SAC-C4, low neck muscle tone, and ligamentous hypermobility, these abnormalities can be considered as congenital predisposition factors for atlantoaxial instability in children with Down syndrome.

Keywords: cervical sagittal balance; Down syndrome; cervical spine; atlantoaxial instability; os odontoideum.

To cite this article:

Kuleshov AA, Nazarenko AG, Sharov VA, Vetrile MS, Ovsyankin AV, Kuzminova ES, Lisyansky 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: <https://doi.org/10.17816/vto624245>

Received: 05.12.2023

Accepted: 21.12.2023

Published online: 19.02.2024

ОБОСНОВАНИЕ

Понятие «баланс позвоночника», сформулированное J. Dubouset [1], легло в основу концепции сагиттального баланса позвоночника, которая, в свою очередь, получила значительное развитие в последние годы [2]. Этот факт подтверждается постоянно увеличивающимся числом научных работ, в которых описывается связь различных позвоночно-тазовых параметров с жалобами пациентов и подходами к лечению. Однако большинство авторов этих исследований акцентируют своё внимание на грудном и поясничном отделах позвоночника и, соответственно, их взаимоотношениях с тазом [3].

Долгое время шейному отделу позвоночника уделялось недостаточно внимания в концепции сагиттального баланса позвоночника, в первую очередь из-за его удалённости от таза и значительной подвижности [3]. Несмотря на это, в последние годы число публикаций, так или иначе касающихся шейного сагиттального баланса, неукоснительно растёт. Активно публикуются работы с описанием основных угловых и числовых параметров шейного сагиттального баланса, описанием условной нормы и поиском методологии измерения и оценки этих параметров. Однако абсолютное большинство работ основывается на измерениях, выполненных у пациентов взрослого возраста [4–6]. Публикации, описывающие шейный сагиттальный баланс у детей, единичны и не содержат чёткой единой методологии.

Значительный вклад в решение этой проблемы внесли Д.А. Глухов и А.Ю. Мушкин с соавт. (2022 г.). В своей работе авторы провели статистический анализ данных, полученных при расчёте основных параметров шейного сагиттального баланса у 73 детей без патологии позвоночника, по результатам постуральных рентгенограмм. В итоге исследователям удалось установить возрастные нормы основных показателей шейного сагиттального баланса для детей, их половые различия и отличия от нормальных параметров взрослой популяции [3].

Вместе с тем общеизвестным является факт, что дети с синдромом Дауна имеют предрасположенность к различным нарушениям опорно-двигательного аппарата [7, 8]. Гипермобильность связочного аппарата, снижение минеральной плотности кости и врождённые костные аномалии являются предрасполагающими к этому факторами [9, 10]. Отмечено, что до трети таких пациентов имеют ту или иную патологию шейного отдела позвоночника [11]. Данный факт был подтверждён нашим собственным исследованием с результатами скринингового обследования пациентов с синдромом Дауна на предмет наличия патологии шейного отдела позвоночника [12].

Эти факты позволяют предполагать, что параметры шейного сагиттального баланса у детей с синдромом Дауна могут статистически отличаться от нормальных показателей у детей. Несмотря на это, в настоящее время публикаций, посвящённых изучению параметров шейного

сагиттального баланса у детей с синдромом Дауна, в мировой литературе найти не удалось, что и сподвигло нас к проведению данного исследования.

Цель исследования — проведение сравнительного анализа параметров шейного сагиттального баланса и критериев атлантаксиальной нестабильности у детей в норме и с синдромом Дауна.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Выполнено мультицентровое когортное ретроспективное сравнительное исследование.

Критерии соответствия

Проведён анализ рентгенограмм шейного отдела позвоночника в нейтральном положении в боковой проекции, а также постуральных рентгенограмм 110 пациентов детского возраста. Критерием отбора рентгенограмм являлось проведение исследования в вертикальном положении, с нейтральным положением головы. Рентгенограммы выполнялись с захватом основания черепа, всего шейного отдела и верхнего грудного отдела позвоночника с рукояткой грудины. Пациенты были распределены на две группы.

Группа 1 (норма) — 60 пациентов в возрасте от 4 до 17 лет включительно. Средний возраст — 11 лет (7,0–14,0 года). Распределение по полу: 26 мальчиков и 34 девочки. По возрасту пациенты были распределены следующим образом: 17 детей от 4 до 7 лет, 19 — от 8 до 11 лет, 24 — от 12 до 17 лет. В данную группу вошли пациенты, обратившиеся на амбулаторный приём в ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России (г. Смоленск) с жалобами на боли в спине, шейном отделе позвоночника или нарушение осанки. С целью исключения патологии опорно-двигательного аппарата данным пациентам были выполнены постуральные рентгенограммы.

Критерии включения в группу:

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

Критерии невключения в группу:

- возраст пациента младше 4 или старше 17 лет;
- наличие патологии опорно-двигательного аппарата;
- наличие какого-либо генетического синдрома либо врождённого заболевания, связанного с дисплазией соединительной ткани.

Группа 2 (синдром Дауна) — 50 пациентов с синдромом Дауна в возрасте от 4 до 17 лет включительно. Средний возраст — 9 лет (7,0–12,0 года). Распределение по полу: 24 мальчика и 26 девочек. Распределение по возрасту: 16 детей от 4 до 7 лет, 18 — от 8 до 11 лет, 16 — от 12 до 17 лет. В данную группу вошли пациенты, прошедшие скрининговое обследование на предмет наличия патологии шейного отдела позвоночника на фоне синдрома Дауна в ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» Минздрава России (г. Москва).

Критерии включения в группу:

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

Критерии невключения в группу:

- возраст пациента младше 4 или старше 17 лет;
- наличие патологии шейного отдела позвоночника либо деформаций позвоночника;
- пациенты с иными генетическими синдромами, отличными от синдрома Дауна, либо несиндромальные.

Методы оценки целевых показателей

По данным рентгенографии пациентам проводился расчёт наиболее часто упоминаемых в литературе угловых параметров шейного сагиттального баланса, оцениваемых методом Cobb (Oc-C2, Oc-C7, C1-C2, C2-C7, C2-C7H, C7S, Th1S, T1A, NT) [3, 5]. Методика расчёта параметров представлена на рис. 1.

Также пациентам проводился расчёт критериев атлантаксиальной нестабильности, оцениваемых в сагиттальной плоскости (Nakamura angle, ADI, SAC-C1, SAC-C1/SAC-C4) [13, 14]. Методика расчёта критериев представлена на рис. 2. Описание параметров и критериев представлено в табл. 1.

С целью исключения погрешности, вносимой посредством использования различных программных средств, все измерения выполнялись в лицензионной версии программы RadiAnt DICOM Viewer, версия 2022.1 (64 bit) (Copyright© 2009–2023, Medixant).

Статистический анализ данных

Статистический анализ данных проведён с помощью языка статистического программирования и среды R (версия 4.3.1) в IDE RStudio (версия 2023.09.0). Соответствие выборки нормальному распределению определялось с помощью теста Шапиро–Уилка. Тестирование статистических гипотез о различии в распределении количественных переменных в независимых выборках проводили с помощью метода Манна–Уитни и критерия согласия Пирсона. Корреляцию между количественными величинами оценивали с помощью коэффициента корреляции Спирмена. Нулевую гипотезу в статистических тестах отклоняли при уровне значимости $p < 0,05$.

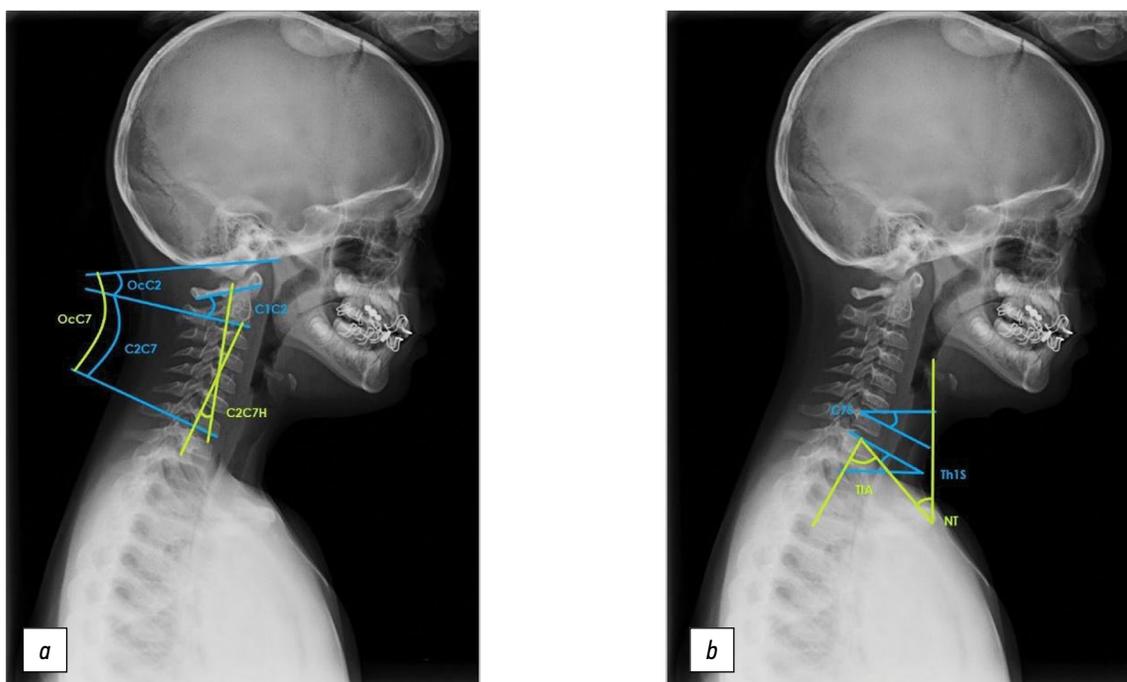


Рис. 1. *a, b* — методика измерения параметров шейного сагиттального баланса.

Fig. 1. *a, b* — technique for measuring cervical sagittal balance parameters.

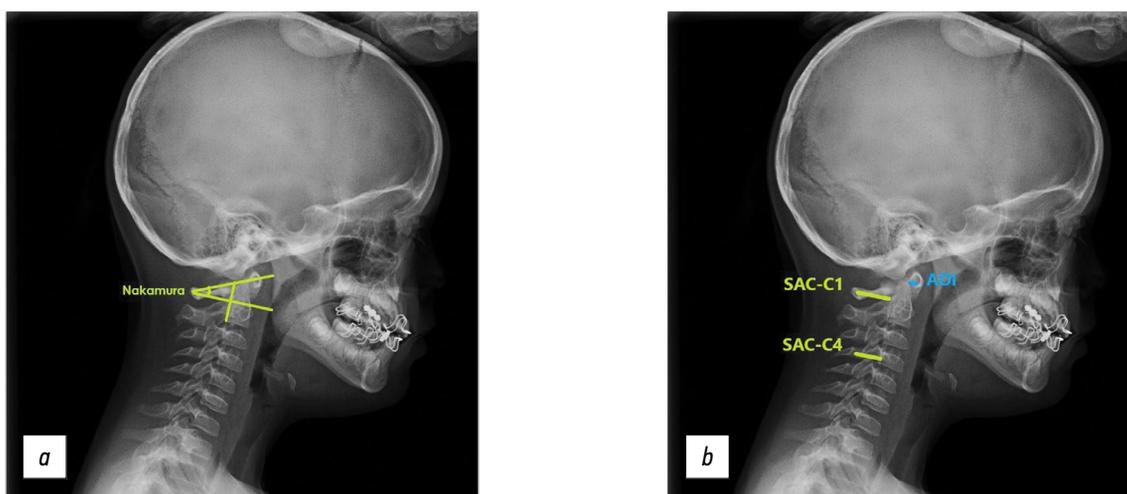


Рис. 2. Методика измерения критериев атлантоаксиальной нестабильности: *a* — угол Nakamura, *b* — SAC-C1, SAC-C1/SAC-C4, ADI.
Fig. 2. Methodology for measuring atlantoaxial instability criteria: *a* — Nakamura angle, *b* — SAC-C1, SAC-C1/SAC-C4, ADI.

Таблица 1. Параметры шейного сагиттального баланса и критерии атлантоаксиальной нестабильности

Table 1. Cervical sagittal balance parameters and criteria for atlantoaxial instability

Параметр	Обозначение	Способ оценки
Верхний шейный угол (High cervical angle)	Oc-C2	Угол между линией McRae и касательной к нижней замыкательной пластинке C2
Общий шейный угол (Common cervical angle)	Oc-C7	Угол между линией McRae и касательной к нижней замыкательной пластинке C7
Атлантоаксиальный угол (Atlantoaxial angle)	C1-C2	Угол между линией, параллельной нижней поверхности C1 и касательной к нижней замыкательной пластинке C2
Нижний шейный изгиб (Low cervical curvature)	C2-C7	Угол, образованный пересечением касательных к нижним замыкательным пластинкам C2 и C7
Угол Харрисона (Harrison's angle)	C2-C7H	Угол, образованный линией, параллельной задней поверхности C2, и линией, параллельной задней поверхности C7
Наклон C7 (C7 slope)	C7S	Угол между горизонталью и верхней замыкательной пластинкой C7
Наклон Th1 (Th1 slope)	Th1S	Угол между горизонталью и верхней замыкательной пластинкой Th1
Угол грудного входа (Thoracic inlet angle)	TIA	Угол между перпендикуляром к середине верхней замыкательной пластинки Th1 и линией, соединяющей эту точку и верхнюю точку грудины
Наклон шеи (Neck tilt)	NT	Угол между вертикалью и линией между вершиной грудины и серединой краниальной замыкательной пластинки Th1
Угол инклинации C1 позвонка (Nakamura angle)	Nakamura	Угол, образованный перпендикулярной линией, проведённой по отношению к касательной линии задней поверхности C2, и линией, соединяющей центральные отделы передней и задней дуги C1
Передний атлантодентальный интервал (Anterior atlantodental interval)	ADI	Оцениваемое в миллиметрах расстояние от задней поверхности передней дуги C1 позвонка до передней поверхности зуба C2 позвонка
Величина резервного пространства для спинного мозга на уровне C1 (Space available for cord at C1 level)	SAC-C1	Оцениваемое в миллиметрах расстояние от передней поверхности задней дуги C1 до задней поверхности зуба C2 позвонка
Коэффициент соотношения величины резервного пространства для спинного мозга на уровне C1 и C4	SAC-C1/SAC-C4	Коэффициент SAC-C1/SAC-C4: значение <0,9 свидетельствует о компрессии спинного мозга

Этическая экспертиза

Все манипуляции, выполненные в исследовании с участием людей, соответствовали стандартам локального этического комитета, заседание № 7 от 05 августа 2021 года, а также Хельсинкской декларации 1964 г. и более поздним поправкам к ней или сопоставимым этическим стандартам. Все пациенты (или их представители) подписывали информированное согласие.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Возрастное распределение, оцениваемое с помощью теста Шапиро–Уилка, в группах не соответствовало нормальному (рис. 3). Статистических различий между группами по полу (критерий Пирсона, $p=0,766$) и возрасту (критерий Манна–Уитни, $p=0,333$) также не было.

Для каждого из пациентов группы 1 (норма, $n=60$) были получены значения параметров шейного сагиттального баланса и критериев атлантаксиальной нестабильности. Полученные параметры были приняты за условную норму для детей.

Далее для каждого из пациентов группы 2 (синдром Дауна, $n=50$) были рассчитаны значения аналогичных параметров и критериев.

С помощью непараметрического критерия Манна–Уитни провели тестирование статистических гипотез о различии в распределении количественных переменных в независимых выборках. В результате были получены статистически значимые различия в параметрах,

характеризующих соотношения шейного отдела позвоночника и грудной клетки, — наклон С7 позвонка (С7S), наклон Th1 позвонка (Th1S), угол грудного входа (Т1А) — в сторону их увеличения у пациентов с синдромом Дауна (рис. 4). Также были получены статистически значимые различия в критериях атлантаксиальной нестабильности: передний атлантадентальный интервал (АДИ), величина резервного пространства для спинного мозга на уровне С1 позвонка (SAC-С1), коэффициент соотношения резервных пространств для спинного мозга на уровне С1 и С4 позвонков (SAC-С1/SAC-С4) — в сторону их уменьшения у пациентов с синдромом Дауна (рис. 5). Между остальными параметрами и критериями статистически значимых различий выявлено не было. Полученные данные представлены с помощью медианы и квартилей в табл. 2.

С помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена произведена оценка статистической зависимости между всеми исследованными критериями в группе 1 (норма) и группе 2 (синдром Дауна) (рис. 6).

В обеих группах получен ряд статистически значимых корреляций ($p < 0,05$). Весьма высокая положительная корреляция получена между параметрами наклона С7 позвонка (С7S) и Th1 позвонка (Th1S), что обусловлено смежным положением позвонков. Высокая положительная корреляция выявлена между параметрами С2-С7Н и С2-С7, поскольку обе эти величины описывают шейный лордоз. Аналогичная корреляционная связь отмечена между параметрами Т1А и С7S, Т1А и Th1S — эта тенденция отражает высокую связь между относительно стабильными в биомеханическом

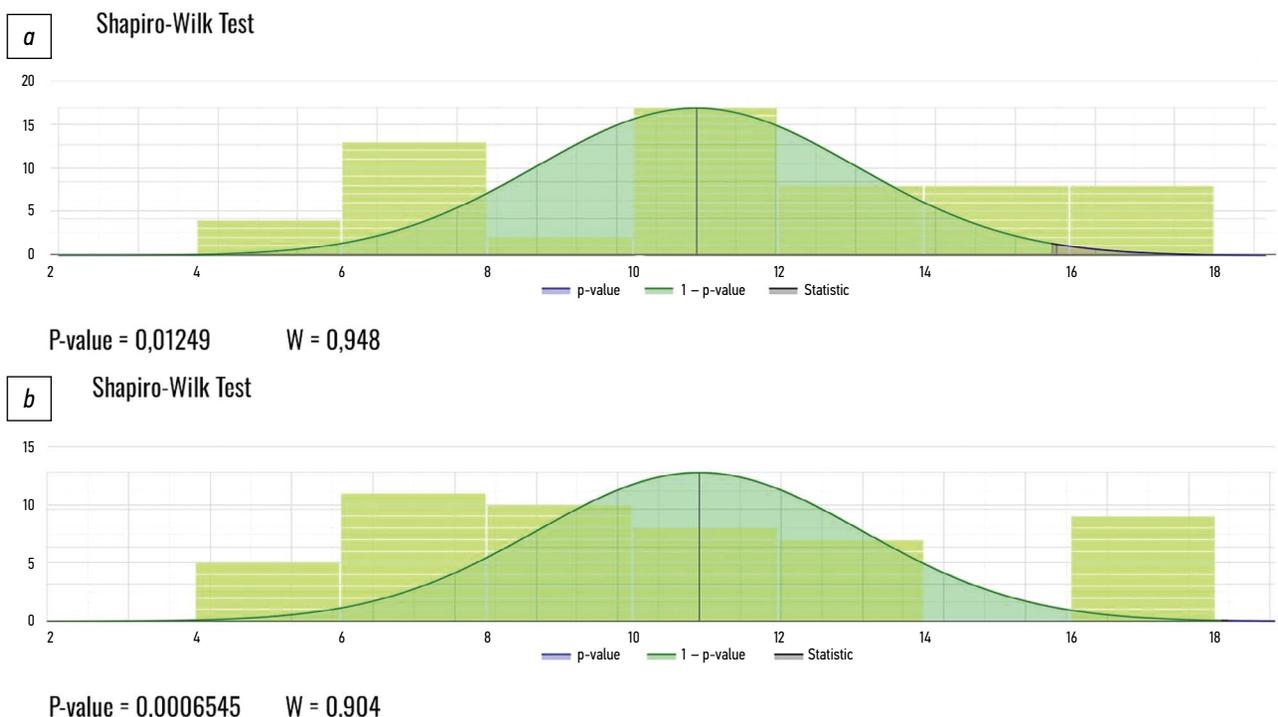


Рис. 3. Оценка нормальности распределения по возрасту в группах с помощью теста Шапиро–Уилка: *a* — группа 1 (норма), *b* — группа 2 (синдром Дауна).

Fig. 3. Evaluation of normality of age distribution in the groups using with Shapiro–Wilk test: *a* — group 1 (normal), *b* — group 2 (Down syndrome).

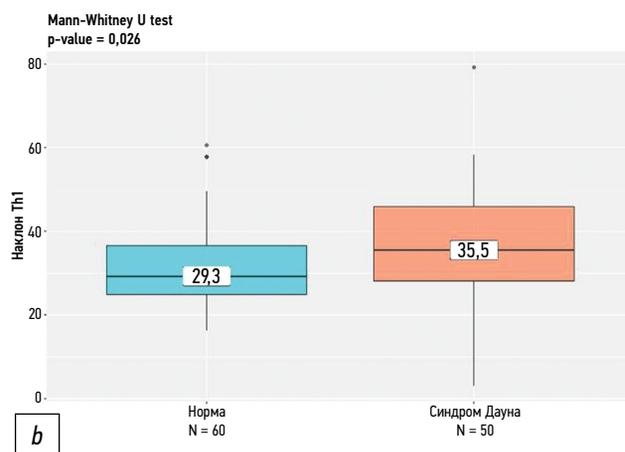
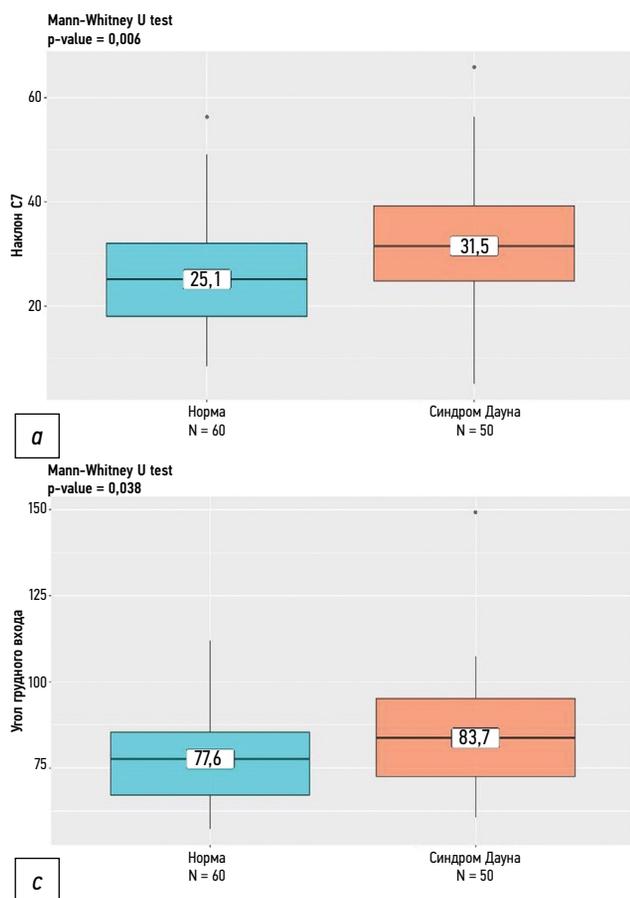


Рис. 4. Графики статистически значимых различий в параметрах шейного сагиттального баланса в группах, представленные с помощью теста Манна–Уитни: *a* — наклон C7 (C7S), *b* — наклон Th1 (Th1S), *c* — угол грудного входа (TIA).

Fig. 4. Graphs of statistically significant differences in cervical sagittal balance parameters between groups presented using the Mann–Whitney test: *a* — C7 tilt (C7S), *b* — Th1 tilt (Th1S), *c* — thoracic inlet angle (TIA).

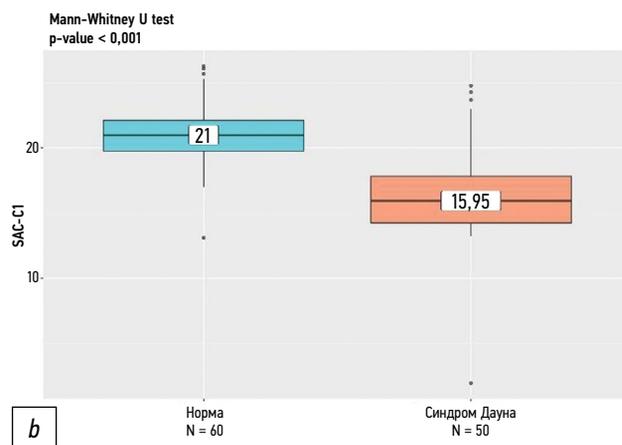
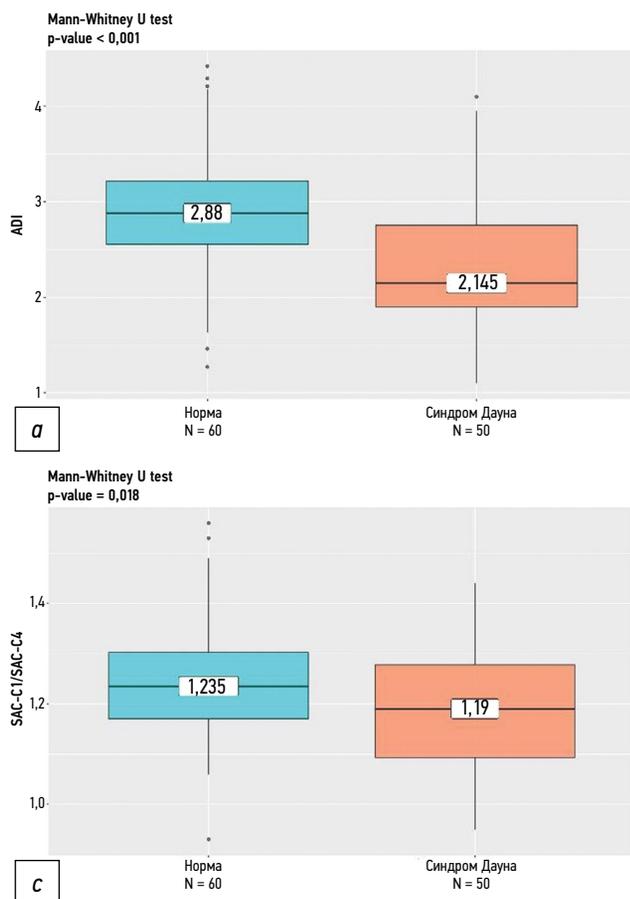


Рис. 5. Графики статистически значимых различий в критериях атлантоаксиальной нестабильности, представленные с помощью теста Манна–Уитни: *a* — передний атлантодентальный интервал (ADI), *b* — величина резервного пространства для спинного мозга на уровне C1 (SAC-C1), *c* — коэффициент соотношения величины резервного пространства для спинного мозга на уровне C1 и C4 (SAC-C1/SAC-C4).

Fig. 5. Graphs of statistically significant differences in atlantoaxial instability criteria presented using the Mann–Whitney test: *a* — anterior atlantodental interval (ADI), *b* — space available for cord at C1 level (SAC-C1), *c* — coefficient of ratio of space available for cord at C1 level and C4 level (SAC-C1/SAC-C4).

Таблица 2. Сравнение параметров шейного сагиттального баланса и критериев атлантоаксиальной нестабильности между группами (данные представлены с помощью медианы и квартилей)

Table 2. Comparison of cervical sagittal balance parameters and atlantoaxial instability criteria between groups (data are presented using medians and quartiles)

Параметр	Группа 1 (норма)	Группа 2 (синдром Дауна)	<i>p</i>
Ос-C2, °	22,80 [18,10, 29,33]	24,55 [19,45, 31,70]	0,305
Ос-C7, °	34,00 [27,75, 44,32]	34,40 [26,10, 50,05]	0,625
C1-C2, °	24,50 [20,55, 31,15]	22,40 [18,05, 30,68]	0,318
C2-C7, °	9,65 [5,58, 20,17]	10,70 [3,77, 20,42]	0,845
C2-C7H, °	17,70 [11,17, 32,48]	15,20 [5,90, 29,70]	0,221
C7S, °	25,10 [18,00, 32,05]	31,50 [24,82, 39,25]	0,006
Th1S, °	29,30 [24,98, 36,52]	35,50 [28,08, 45,88]	0,027
TIA, °	77,60 [67,18, 85,30]	83,70 [72,53, 95,20]	0,038
NT, °	47,20 [42,10, 51,93]	48,95 [41,65, 55,75]	0,492
Nakamura, °	14,05 [8,92, 16,97]	11,25 [7,53, 15,20]	0,079
ADI, мм	2,88 [2,55, 3,21]	2,14 [1,90, 2,75]	<0,001
SAC-C1, мм	21,00 [19,78, 22,13]	15,95 [14,25, 17,82]	<0,001
SAC-C1/SAC-C4	1,23 [1,17, 1,30]	1,19 [1,09, 1,28]	0,019

отношении структурами, объединяющими позвоночник и грудную клетку. Также высокая положительная связь отмечена между углом Nakamura и углом C1-C2, так как оба этих параметра отражают анатомические соотношения между C1 и C2 позвонками. Статистически значимая заметная положительная корреляция определена между углами наклона C7 и Th1 позвонков (C7S, Th1S) и параметрами, отражающими величину шейного лордоза (Ос-C7, C2-C7, C2-C7H). Исходя из совокупности полученных корреляционных

зависимостей можно утверждать, что параметры, характеризующие соотношения позвоночника и грудной клетки (C7S, Th1S, TIA), являются образующими для формирования шейного лордоза, что было подтверждено и другими публикациями по данной тематике [15, 16].

Важно отметить следующее: несмотря на то, что описанные корреляционные связи характерны как для детей в норме, так и для детей с синдромом Дауна, коэффициенты корреляции у детей из группы 2 меньше. Этот факт

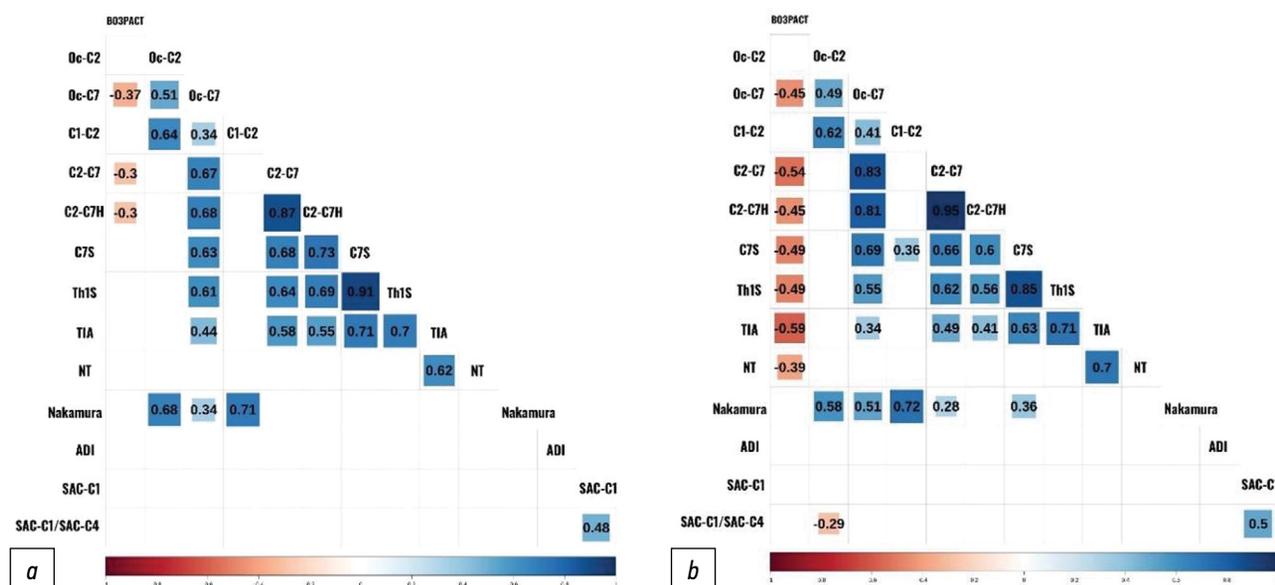


Рис. 6. Отображение статистических зависимостей между всеми исследуемыми параметрами в группах с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена: *a* — группа 1 (норма), *b* — группа 2 (синдром Дауна).

Fig. 6. Representation of statistical relationships between all investigated parameters in groups using Spearman's rank correlation coefficient: *a* — group 1 (normal), *b* — group 2 (Down syndrome).

Таблица 3. Сравнение значений коэффициента ранговой корреляции Спирмена между параметрами с наиболее сильной статистической связью ($p < 0,05$)**Table 3.** Comparison of Spearman's rank correlation coefficient values between parameters with the strongest statistical relationship ($p < 0.05$)

Параметры	Коэффициент Спирмена	
	Группа 1 (норма)	Группа 2 (синдром Дауна)
C7S и Th1S	0,91	0,85
C2-C7H и C2-C7	0,87	0,95
T1A и C7S	0,71	0,63
T1A и Th1S	0,70	0,71
Nakamura и C1-C2	0,71	0,72
C7S и Oc-C7	0,63	0,69
C7S и C2-C7	0,68	0,66
C7S и C2-C7H	0,73	0,60
Th1S и Oc-C7	0,61	0,55
Th1S и C2-C7	0,64	0,62
Th1S и C2-C7H	0,69	0,56

можно трактовать как меньшую сегментарную взаимосвязь между анатомическими структурами шейного отдела позвоночника и грудной клетки у детей с синдромом Дауна. Вероятно, это связано с большей мобильностью связочного аппарата и сниженным тонусом мышц шеи, характерными для этой группы пациентов (табл. 3).

ОБСУЖДЕНИЕ

Значительный рост среди исследователей интереса к проблеме оценки параметров сагиттального баланса у детей подтверждается постоянно увеличивающимся количеством работ, посвящённых данной тематике.

Наибольший вклад в описании методологии подсчёта параметров глобального сагиттального баланса принадлежит J.C. Le Huec с соавт. За долгое время, уделяя особое внимание параметрам позвоночно-тазовых соотношений, эта группа авторов накопила огромный опыт в оценке и поиске нормальных значений сагиттальных параметров для различных групп пациентов. В 2015 г. исследователи коснулись проблемы поиска методики расчёта и оценки параметров шейного сагиттального баланса. В своей работе они описали референтные параметры для анализа сагиттального баланса шейного отдела позвоночника у бессимптомных добровольцев [6]. Эта работа стала основой для многих последующих исследований, посвящённых шейному сагиттальному балансу.

В 2020 г. авторами из Ирана было опубликовано проспективное исследование, целью которого являлся поиск взаимосвязи величины шейного лордоза с параметрами сегментарного и глобального сагиттального баланса. В результате изучения рентгенограмм 420 пациентов взрослого возраста была выявлена связь шейного сагиттального

баланса с позвоночно-тазовыми параметрами [5]. Важно отметить, что в данном исследовании проводилась оценка параметров как здоровых добровольцев, так и пациентов с различными патологиями позвоночника, сопровождающимися сагиттальным дисбалансом.

S.H. Lee с соавт., определяя соотношения между параметрами шейного сагиттального баланса, пришли к выводу, что параметр T1A отличается постоянством для каждого конкретного индивида, представляя собой константу, аналогично параметру P1 в поясничном отделе позвоночника. В дальнейшем этой же группой исследователей было доказано, что параметры C7S, Th1S, T1A имеют малую вариативность при флексии и экстензии. Также была доказана высокая значимость данных параметров в формировании шейного лордоза [15]. При определении нормальных значений параметров шейного сагиттального баланса у детей Д.А. Глухов и А.Ю. Мушкин с соавт. (2022 г.) пришли к выводу, что данные корреляционные связи справедливы и для пациентов детского возраста, несмотря на то, что большинство параметров шейного сагиттального баланса отличаются от таковых у взрослых пациентов [3].

При изучении вопроса шейного сагиттального баланса у детей, на наш взгляд, является необходимым включение в исследование детей с синдромом Дауна. Это достаточно хорошо исследованная группа пациентов, как с точки зрения ортопедической патологии в целом, так и атланто-аксиальной нестабильности в частности. Для лиц с синдромом Дауна характерен широкий спектр проявлений нарушений опорно-двигательного аппарата. Наибольшее влияние на качество жизни этих пациентов могут оказать именно патологические состояния, связанные с шейным отделом позвоночника [7, 12]. Транслигаментозные и трансдентальные дислокации, обусловленные наличием

зубовидной кости С2 позвонка, встречаются у этой группы детей наиболее часто в сравнении с несиндромальными детьми и могут приводить к выраженному неврологическому дефициту [11, 17, 18].

Как правило, этот вид дислокаций сопровождается уменьшением локального лордоза на уровне С1-С2 (верхний шейный угол и угол Nakamura) [13, 14]. Дальнейшее смещение приводит к уменьшению резервного пространства для спинного мозга в верхнем шейном отделе позвоночника с последующей его компрессией.

В результате проведённого нами исследования было выявлено, что параметры, характеризующие взаимоотношения шейного отдела позвоночника и грудной клетки (С7S, Th1S, T1A), статистически больше у детей с синдромом Дауна. Эти же параметры, являясь константой для каждого конкретного ребёнка, определяют величину шейного лордоза. Исходя из расчётных формул и соотношений, которые были определены различными исследователями ранее, величина шейного лордоза у детей с синдромом Дауна также должна быть значимо больше, однако в нашем исследовании эту тенденцию подтвердить не удалось. Данный факт можно объяснить большей мобильностью связочного аппарата у детей с синдромом Дауна и слабостью мышц шеи, которая также была описана [9, 10]. На наш взгляд, это можно трактовать как более выраженную межсегментарную мобильность.

Вместе с тем выявленные статистические различия в коэффициентах резервного пространства для спинного мозга и переднего атлантодентального интервала (SAC-C1, SAC-C1/SAC-C4, ADI) в сторону уменьшения у детей с синдромом Дауна трактуются нами как анатомически обусловленная предрасположенность к более выраженному неврологическому дефициту при переднезадних дислокациях. Следовательно, дети из этой группы, являясь предрасположенными к гипермобильности в атлантоаксиальном и субаксиальном отделах позвоночника, ещё и имеют тенденцию к более раннему и выраженному развитию миелопатии, что часто можно наблюдать на практике, например у пациентов с зубовидной костью С2 позвонка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У пациентов с синдромом Дауна показатели, на основе которых формируется шейный лордоз, статистически больше, чем у детей в норме. Эти параметры, являющиеся константой, можно описать как одно из анатомических проявлений данного синдрома. При этом угловые характеристики шейного лордоза у них не отличаются от таковых у здоровых детей. При флексии шейный отдел

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Dubousset J. Three-dimensional analysis of the scoliotic deformity. In: Weinstein S.L., editor. *The pediatric spine: principles and practice*. New York: Raven Press, 1994. P. 479–496.
- Le Huec J.C., Thompson W., Mohsinaly Y., Barrey C., Faundez A. Sagittal balance of the spine // *Eur Spine J*. 2019. Vol. 28, № 9. P. 1889–1905. EDN: KDEURA doi: 10.1007/s00586-019-06083-1

позвоночника у детей с синдромом Дауна находится в субкомпенсации, поскольку сглаживание шейного лордоза, вплоть до его перехода в кифоз, — это компенсаторный механизм при данном виде движений. Учитывая статистически меньшую величину резервного пространства для спинного мозга в шейном отделе, меньший ADI, низкий тонус мышц шеи и гипермобильность связочного аппарата, можно считать полученные отклонения врождёнными факторами предрасположенности к атлантоаксиальной нестабильности у детей с синдромом Дауна. Определение параметров шейного сагиттального баланса у различных групп пациентов требует дальнейшего изучения с целью определения прикладной значимости этой концепции как при хирургическом лечении, так и при профилактике различных патологических состояний.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. Все авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи. Наибольший вклад распределён следующим образом: В.А. Шаров — написание текста статьи, сбор и анализ литературных источников; А.А. Кулешов, А.Г. Назаренко, М.С. Ветрилэ — написание и редактирование текста статьи; А.В. Овсянкин, Е.С. Кузьмина, И.Н. Лисянский, С.Н. Макаров — редактирование текста статьи; Ю.В. Струнина — статистический анализ данных.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования и подготовке публикации.

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

ADDITIONAL INFO

Author contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. V.A. Sharov — writing the text of the article, collection and analysis of literary sources; A.A. Kuleshov, A.G. Nazarenko, M.S. Vetrile — writing and editing the text of the article; A.V. Ovsyankin, E.S. Kuzminova, I.N. Lisyansky, S.N. Makarov — editing the text of the article; U.V. Strunina — statistical analysis of the data.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

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

3. 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. EDN: OBZBIX doi: 10.14531/ss2022.4.19-29
4. Abelin-Genevois K. Sagittal balance of the spine // *Orthop Traumatol Surg Res*. 2021. Vol. 107, № 1S. P. 102769. doi: 10.1016/j.otsr.2020.102769
5. Alijani B., Rasouljan J. The Sagittal Balance of the Cervical Spine: Radiographic Analysis of Interdependence between the Occipitocervical and Spinopelvic Alignment // *Asian Spine J*. 2020. Vol. 14, № 3. P. 287–297. doi: 10.31616/asj.2019.0165
6. Le Huec J.C., Demezou 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. Vol. 24, № 1. P. 63–71. EDN: ZSQYBK doi: 10.1007/s00586-014-3632-0
7. Caird M.S., Wills B.P., Dormans J.P. Down syndrome in children: the role of the orthopaedic surgeon // *J Am Acad Orthop Surg*. 2006. Vol. 14, № 11. P. 610–9. doi: 10.5435/00124635-200610000-00003
8. Collacott R.A. Atlantoaxial instability in Down's syndrome // *Br Med J (Clin Res Ed)*. 1987. Vol. 294, № 6578. P. 988–9. doi: 10.1136/bmj.294.6578.988
9. Carfi A., Liperoti R., Fusco D., et al. Bone mineral density in adults with Down syndrome // *Osteoporos Int*. 2017. Vol. 28, № 10. P. 2929–2934. EDN: VCRVWA doi: 10.1007/s00198-017-4133-x
10. McKelvey K.D., Fowler T.W., Akel N.S., et al. Low bone turnover and low bone density in a cohort of adults with Down syndrome // *Osteoporos Int*. 2013. Vol. 24, № 4. P. 1333–8. EDN: UGFAMY doi: 10.1007/s00198-012-2109-4
11. Sergeenko O.M., Dyachkov K.A., Ryabykh S.O., Burtsev A.V., Gubin A.V. Atlantoaxial dislocation due to os odontoideum in patients with Down's syndrome: literature review and case reports // *Childs Nerv Syst*. 2020. Vol. 36, № 1. P. 19–26. doi: 10.1007/s00381-019-04401-y
12. Кулешов А.А., Губин А.В., Шаров В.А., Ветрилэ М.С., Лисянский И.Н., Макаров С.Н. Скрининговое обследование шейного отдела позвоночника у пациентов с синдромом Дауна // *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2023. Т. 30, № 3. С. 325–334. EDN: APTTNT doi: 10.17816/vto568156
13. Nakamura N., Inaba Y., Oba M., et al. Novel 2 Radiographical Measurements for Atlantoaxial Instability in Children with Down Syndrome // *Spine*. 2014. Vol. 39, № 26. P. E1566–E1574. doi: 10.1097/brs.0000000000000625
14. Хусаинов Н.О., Виссарионов С.В., Кокушин Д.Н. Нестабильность краниовертебральной области у детей с синдромом Дауна // *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2016. Т. 4, № 3. С. 71–77. doi: 10.17816/PTORS4371-77
15. Lee S.H., Kim K.T., Seo E.M., Suk K.S., Kwack Y.H., Son E.S. The influence of thoracic inlet alignment on the craniocervical sagittal balance in asymptomatic adults // *J Spinal Disord Tech*. 2012. Vol. 25. P. E41–E47. doi: 10.1097/BSD.0b013e3182396301
16. 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. Vol. 24. P. 2880–2884. EDN: GRBAFQ doi: 10.1007/s00586-015-4023-x
17. French H.G., Burke S.W., Roberts J.M., Johnston C.E. 2nd, Whitecloud T., Edmunds J.O. Upper cervical ossicles in Down syndrome // *J Pediatr Orthop*. 1987. Vol. 7, № 1. P. 69–71. doi: 10.1097/01241398-198701000-00014
18. Cros T., Linares R., Castro A., Mansilla F. Estudio radiológico de las alteraciones cervicales en el síndrome de Down. Nuevos hallazgos mediante tomografía computarizada y reconstrucciones tridimensionales // *Rev Neurol*. 2000. Vol. 30, № 12. P. 1101–7. (In Span). doi: 10.33588/rn.3012.99216

REFERENCES

1. Dubousset J. Three-dimensional analysis of the scoliotic deformity. In: Weinstein SL, editor. *The pediatric spine: principles and practice*. New York: Raven Press; 1994. P. 479–496.
2. Le Huec JC, Thompson W, Mohsinaly Y, Barrey C, Faundez A. Sagittal balance of the spine. *Eur Spine J*. 2019;28(9):1889–1905. EDN: KDEURA doi: 10.1007/s00586-019-06083-1
3. Glukhov DA, Zorin VI, Maltseva YaA, 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. EDN: OBZBIX doi: http://dx.doi.org/10.14531/ss2022.4.19-29
4. Abelin-Genevois K. Sagittal balance of the spine. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2021;107(1S):102769. doi: 10.1016/j.otsr.2020.102769
5. Alijani 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(3):287–297. doi: 10.31616/asj.2019.0165
6. Le Huec JC, Demezou 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(1):63–71. EDN: ZSQYBK doi: 10.1007/s00586-014-3632-0
7. Caird MS, Wills BP, Dormans JP. Down syndrome in children: the role of the orthopaedic surgeon. *J Am Acad Orthop Surg*. 2006;14(11):610–9. doi: 10.5435/00124635-200610000-00003
8. Collacott RA. Atlantoaxial instability in Down's syndrome. *Br Med J (Clin Res Ed)*. 1987;294(6578):988–9. doi: 10.1136/bmj.294.6578.988
9. Carfi A, Liperoti R, Fusco D, et al. Bone mineral density in adults with Down syndrome. *Osteoporos Int*. 2017;28(10):2929–2934. EDN: VCRVWA doi: 10.1007/s00198-017-4133-x
10. McKelvey KD, Fowler TW, Akel NS, et al. Low bone turnover and low bone density in a cohort of adults with Down syndrome. *Osteoporos Int*. 2013;24(4):1333–8. EDN: UGFAMY doi: 10.1007/s00198-012-2109-4
11. Sergeenko OM, Dyachkov KA, Ryabykh SO, Burtsev AV, Gubin AV. Atlantoaxial dislocation due to os odontoideum in patients with Down's syndrome: literature review and case reports. *Childs Nerv Syst*. 2020;36(1):19–26. doi: 10.1007/s00381-019-04401-y
12. Kuleshov AA, Gubin AV, Sharov VA, Vetrile MS, Lisyansky IN, Makarov SN. Screening examination of the cervical spine in patients with Down syndrome. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2023;30(3):325–334. EDN: APTTNT doi: 10.17816/vto568156
13. Nakamura N, Inaba Y, Oba M, et al. Novel 2 Radiographical Measurements for Atlantoaxial Instability in Children with Down Syndrome. *Spine*. 2014;39(26):E1566–E1574. doi: 10.1097/brs.0000000000000625
14. Khusainov NO, Vissarionov SV, Kokushin DN. Craniocervical instability in children with Down's syndrome. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2016;4(3):71–77. doi: 10.17816/PTORS4371-77

15. 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

16. 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. EDN: GRBAFQ doi: 10.1007/s00586-015-4023-x

17. French HG, Burke SW, Roberts JM, Johnston CE 2nd, Whitecloud T, Edmunds JO. Upper cervical ossicles in Down syndrome. *J Pediatr Orthop.* 1987;7(1):69–71. doi: 10.1097/01241398-198701000-00014

18. Cros T, Linares R, Castro A, Mansilla F. A radiological study of the cervical alterations in Down syndrome. New findings on computerized tomography and three dimensional reconstructions. *Rev Neurol.* 2000;30(12):1101–7. (In Span). doi: 10.33588/rn.3012.99216

ОБ АВТОРАХ

* Шаров Владислав Андреевич;

адрес: Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, 10;
ORCID: 0000-0002-0801-0639;
eLibrary SPIN: 8062-9216;
e-mail: sharov.vlad397@gmail.com

Кулешов Александр Алексеевич, д-р мед. наук;

ORCID: 0000-0002-9526-8274;
eLibrary SPIN: 7052-0220;
e-mail: cito-spine@mail.ru

Назаренко Антон Герасимович, д-р мед. наук,

профессор РАН;
ORCID: 0000-0003-1314-2887;
eLibrary SPIN: 1402-5186;
e-mail: cito@cito-priorov.ru

Ветрилэ Марчел Степанович, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0001-6689-5220;
eLibrary SPIN: 9690-5117;
e-mail: vetrilams@cito-priorov.ru

Овсянкин Анатолий Васильевич, канд. мед. наук;

eLibrary SPIN: 4417-3617;
e-mail: ovsjankin@rambler.ru

Кузьмина Елена Станиславовна;

ORCID: 0000-0003-2876-6844;
eLibrary SPIN: 5992-6657;
e-mail: muxuxo@gmail.com

Лисянский Игорь Николаевич, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0002-2479-4381;
eLibrary SPIN: 9845-1251;
e-mail: lisigornik@list.ru

Макаров Сергей Николаевич, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0003-0406-1997;
eLibrary SPIN: 2767-2429;
e-mail: moscow.makarov@gmail.com

Струнина Юлия Владимировна;

ORCID: 0000-0001-5010-6661;
eLibrary SPIN: 9799-5066;
e-mail: ustrunina@nsi.ru

AUTHORS' INFO

* Vladislav A. Sharov;

address: 10 Priorova str., 127299 Moscow, Russia;
ORCID: 0000-0002-0801-0639;
eLibrary SPIN: 8062-9216;
e-mail: sharov.vlad397@gmail.com

Alexander A. Kuleshov, MD, Dr. Sci. (Med.);

ORCID: 0000-0002-9526-8274;
eLibrary SPIN: 7052-0220;
e-mail: cito-spine@mail.ru

Anton G. Nazarenko, MD, Dr. Sci. (Med.),

professor of Russian Academy of Sciences;
ORCID: 0000-0003-1314-2887;
eLibrary SPIN: 1402-5186;
e-mail: cito@cito-priorov.ru

Marchel S. Vetrile, MD, Cand. Sci. (Med.);

ORCID: 0000-0001-6689-5220;
eLibrary SPIN: 9690-5117;
e-mail: vetrilams@cito-priorov.ru

Anatoliy V. Ovsyankin, MD, Cand. Sci. (Med.);

eLibrary SPIN: 4417-3617;
e-mail: ovsjankin@rambler.ru

Elena S. Kuzminova;

ORCID: 0000-0003-2876-6844;
eLibrary SPIN: 5992-6657;
e-mail: muxuxo@gmail.com

Igor N. Lisyansky, MD, Cand. Sci. (Med.);

ORCID: 0000-0002-2479-4381;
eLibrary SPIN: 9845-1251;
e-mail: lisigornik@list.ru

Sergey N. Makarov, MD, Cand. Sci. (Med.);

ORCID: 0000-0003-0406-1997;
eLibrary SPIN: 2767-2429;
e-mail: moscow.makarov@gmail.com

Uliya V. Strunina;

ORCID: 0000-0001-5010-6661;
eLibrary SPIN: 9799-5066;
e-mail: ustrunina@nsi.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author