



ВЛИЯНИЕ ДЕСТРУКТИВНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ И ХИРУРГИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ НА ПАРАМЕТРЫ САГИТТАЛЬНОГО БАЛАНСА ШЕЙНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА У ДЕТЕЙ

Д.А. Глухов¹, А.Ю. Мушкин^{2,3}

¹Клиника высоких медицинских технологий им. Н.И. Пирогова

Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии, Санкт-Петербург, Россия

³Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет
им. акад. И.П. Павлова, Санкт-Петербург, Россия

Цель исследования. Анализ динамики изменений параметров сагиттального баланса шейного отдела позвоночника на фоне хирургического лечения деструктивной опухолевой и инфекционно-воспалительной патологии шейных позвонков у детей.

Материал и методы. Дизайн: ретроспективно-проспективная моноцентровая когорта. Отобрана 81 рентгенограмма шейного отдела позвоночника, выполненная в положении стоя до и после хирургического лечения детям, оперированным по поводу опухолей позвонков и шейных спондилитов. Измерены 10 наиболее распространенных показателей: угловые значения $Oc-C_2$, C_2-C_7 , C_7S , Th_1S (T_1S), TIA , NT , CeT , CrT , SCA , а также расстояние $cSVA$ в мм. Материал подвергнут статистической обработке с использованием методов непараметрического анализа.

Результаты. При субокципитальном поражении наиболее значительные изменения претерпевали параметры $Oc-C_2$ и CrT , при субаксиальном — $Oc-C_2$, C_2-C_7 , а при поражении шейно-грудного перехода — C_2-C_7 , C_7S , Th_1S , TIA , NT , CeT , CrT . Значимая разница отмечена только для параметра NT между нормой и группой патологии шейно-грудного перехода после операции ($p = 0,0190$). При туберкулезном спондилите отмечены наибольшие изменения параметров TIA , NT , CeT , SCA и $cSVA$. Значимые отличия зафиксированы также лишь для параметра NT между послеоперационными группами туберкулезных спондилитов и опухолей ($p = 0,0016$), а также между группой туберкулезных спондилитов после операции и группой нормы ($p = 0,0013$). При протяженной (3 и более позвонков) деструкции параметр NT отличался от нормы как до ($p = 0,0174$), так и после ($p = 0,0059$) хирургического лечения. Параметр $cSVA$ отличался от нормы при коротких деструкциях только до хирургической коррекции ($p = 0,0195$), при этом при протяженных деструкциях он отличался от нормы только после хирургической реконструкции ($p = 0,0212$).

Заключение. Изучение вопросов биомеханики позвоночника в патологических условиях позволяет лучше понимать происходящие изменения и предлагать эффективные способы коррекции и восстановления нормальной анатомии сегмента.

Ключевые слова: сагиттальный баланс; шейный отдел позвоночника; дети; опухоль; спондилит; остеомиелит; хирургическое лечение.

Для цитирования: Глухов Д.А., Мушкин А.Ю. Влияние деструктивных изменений и хирургической коррекции на параметры сагиттального баланса шейного отдела позвоночника у детей // Хирургия позвоночника. 2025. Т. 22, № 2. С. 66–74.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.2.66-74>

INFLUENCE OF DESTRUCTIVE CHANGES AND SURGICAL CORRECTION ON THE PARAMETERS OF SAGITTAL BALANCE OF THE CERVICAL SPINE IN CHILDREN

D.A. Glukhov¹, A.Yu. Mushkin^{2,3}

¹Clinic of High Medical Technologies n.a. N.I. Pirogov, Saint Petersburg State University Hospital, St. Petersburg, Russia

²Saint Petersburg Research Institute of Phthisiopulmonology, St. Petersburg, Russia

³Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, St. Petersburg, Russia

Objective. To analyze dynamics of changes in the parameters of the sagittal balance of the cervical spine against the background of surgical treatment of destructive tumor and infectious inflammatory pathology of the cervical vertebrae in children.

Material and Methods. Design: retrospective-prospective monocentric cohort. A total of 81 radiographs of the cervical spine in a standing position before and after surgery in children operated on for vertebral tumors and cervical spondylitis were selected. The 10 most common parameters were measured: angular values of $Oc-C_2$, C_2-C_7 , C_7S , T_1S , TIA , NT , CeT , CrT , SCA , as well as the $cSVA$ distance measured in mm. The material was statistically processed using nonparametric analysis methods.

Results. In case of suboccipital lesions, the most significant changes were in the $Oc-C_2$ and CrT parameters, in case of subaxial lesions — $Oc-C_2$, C_2-C_7 , and in case of cervicothoracic junction lesions — C_2-C_7 , C_7S , T_1S , TIA , NT , CeT , and CrT . Significant difference be-

tween the groups was noted only for NT parameter between the norm and the group of cervicothoracic junction pathology after surgery ($p = 0.0190$). In case of tuberculous spondylitis, the greatest changes were noted in TIA, NT, CeT, SCA and cSVA parameters. Significant differences were also revealed only for NT parameter between the postoperative groups of tuberculous spondylitis and tumors ($p = 0.0016$), as well as between the group of tuberculous spondylitis after surgery and the norm group ($p = 0.0013$). In case of extensive (3 or more vertebrae) destruction, the NT parameter differed from the norm both before ($p = 0.0174$) and after ($p = 0.0059$) surgical treatment. The cSVA parameter differed from the norm in case of short destructions only before surgical correction ($p = 0.0195$), while in case of extensive destructions it differed from the norm only after surgical reconstruction ($p = 0.0212$).

Conclusion. Studying the issues of spine biomechanics in pathological conditions allows for better understanding the changes that occur and propose effective methods for correcting and restoring the normal anatomy of the segment.

Key Words: sagittal balance; cervical spine; children; tumor; spondylitis; osteomyelitis; surgical treatment.

Please cite this paper as: Glukhov DA, Mushkin AYU. Influence of destructive changes and surgical correction on the parameters of sagittal balance of the cervical spine in children. Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2025;22(2):66–74. In Russian.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.2.66-74>

Представленные в специальной литературе последних лет нормальные величины параметров сагиттального баланса у детей позволили по-новому оценивать изменения, происходящие в позвоночнике при различных патологических процессах [1–5]. С учетом того, что многие из них приводят к деформации позвоночника, целью данной работы явилась объективизация изменений в шейном отделе позвоночника у детей путем изучения параметров его сагиттального баланса на фоне опухолевых и инфекционно-воспалительных поражений шейных позвонков.

Дизайн исследования – ретроспективно-проспективная моноцентровая когорта.

Объект исследования – параметры сагиттального баланса шейного отдела позвоночника при деструктивных изменениях позвонков и возможности их хирургической коррекции.

Критерии включения:

- единое место лечения – клиника детской хирургии и ортопедии Санкт-Петербургского научно-исследовательского института фтизиопульмонологии;
- установленная этиология заболевания – опухоли позвонков и спондилиты;
- локализация – шейные позвонки, включая O_5/C_1 – C_7 ;
- наличие рентгенограмм шейного отдела в боковой проекции, выполненных в положении стоя, в том числе до и после оперативного лечения;
- возраст пациентов на момент хирургического лечения менее 18 лет.

Критерии исключения:

- выявление при комплексном обследовании ребенка любых врожденных пороков развития шейных позвонков или признаков их травматических повреждений;
- первичная нейрохирургическая патология – опухоли и врожденные пороки развития спинного мозга или основания черепа, в том числе любые варианты миелодисплазии;
- неврологические нарушения и невозможность вертикализации ребенка.

Материал и методы

Для анализа изменений баланса из лучевого архива клиники отобрали 81 рентгенограмма шейного отдела позвоночника в боковой проекции, выполненная в положении стоя до и после хирургического лечения детям с опухолевыми и инфекционно-воспалительными поражениями позвонков.

На отобранных рентгенограммах измерены 10 наиболее распространенных показателей: угловые значения O_5 – C_2 , C_2 – C_7 , C_7 S, Th_1 S (T_1 S), TIA, NT, CeT, CrT, SCA, а также расстояние cSVA в мм (рис. 1). Описание данных параметров, а также подробная методика измерения представлены в литературе [1]. Для исключения потенциально возможных погрешностей, вносимых различными программами при работе с DICOM-файлами, все измерения выполняли в лицензионной версии программы «RadiAnt DICOM Viewer»

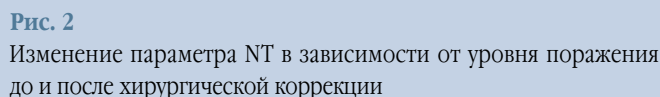
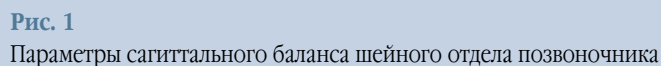
(версия 2021.2, Copyright © 2009–2022 Medixant).

Материал подвергнут статистической обработке с использованием методов непараметрического анализа. Значения параметров выборки представлены в виде Me (Q_1 – Q_3), так как критерии Шапиро – Уилка и Лиллиефорса (Колмогорова – Смирнова с поправкой Лиллиефорса) выявили статистически значимые отклонения изучаемых групп параметров от нормального распределения. Накопление, корректировку и систематизацию исходной информации осуществляли в электронных таблицах LibreOffice Calc (версия 3.7.2, MPL v.2). Статистический анализ и визуализацию полученных результатов проводили с использованием языка программирования R (версия 3.5.1, GNU GPL v.2) в программной среде разработки RStudio Desktop (версия 2022.02, GNU AGPL v.3).

Результаты

Все параметры в первую очередь разделены на группы по преобладающему уровню поражения вне зависимости от этиологии процесса – субокципитальный (O_5 – C_2), субаксиальный (C_3 – C_6) и шейно-грудной (C_7 – Th_1), а также по отношению к факту хирургического лечения – до и после операции (табл. 1).

При субокципитальном поражении наиболее значительные изменения претерпевали параметры O_5 – C_2 и CrT, при субаксиальном – O_5 – C_2 ,



При этом статистически значимая разница между группами отмечена только для параметра NT (критерий Краскела – Уоллиса: $\chi^2 = 20,8029$; $df = 6$; $p = 0,0020$). При помощи критерия Данна с поправкой критического уровня значимости на множественные сравнения методом Холмса выявлена разница между нормальными показателями и группой шейно-грудных переходов после операции ($p = 0,0190$; рис. 2; табл. 2).

Таблица 1
Изменение параметров сагиттального баланса шейного отдела позвоночника до и после хирургической коррекции, Me ($Q_1 - Q_3$)

Параметры	Норма	Субоципитальный (Ос-С ₂)		Субаксиальный (С ₃ -С ₆)		Шейно-грудной переход (С ₇ -Т _{h1})	
		до коррекции	после коррекции	до коррекции	после коррекции	до коррекции	после коррекции
Ос-С ₂ , град.	-23,0 (от -29,0 до -18,00)	-23,0 (от -37,00 до -18,00)	-23,0 (от -26,00 до -13,00)	-24,0 (от -34,50 до -16,00)	-22,5 (от -29,00 до -17,75)	-21,0 (от -28,25 до -18,50)	-21,0 (от -26,50 до -18,00)
С ₂ -С ₇ , град.	-7,0 (-18,00-2,00)	-5,0 (-13,00-0,00)	-7,5 (-22,50-1,00)	-6,0 (-10,00-1,50)	-10,0 (от -17,50 до -2,75)	-10,5 (-28,00-0,75)	-20,0 (от -23,50 до -6,00)
С ₇ С ₈ , град.	24,0 (18,00-30,00)	27,0 (27,00-31,00)	18,5 (11,75-25,75)	19,0 (16,50-28,00)	24,0 (14,75-28,25)	25,0 (16,25-37,25)	35,0 (20,50-37,00)
Т _{h1} С ₈ , град.	28,0 (22,00-35,25)	33,0 (31,00-33,00)	22,0 (17,75-27,25)	24,0 (21,50-32,00)	28,0 (20,75-33,00)	25,0 (16,50-39,00)	34,0 (12,50-36,50)
Т _{1А} , град.	69,5 (61,25-78,00)	80,0 (78,00-81,00)	66,0 (60,00-69,50)	66,0 (60,25-73,50)	66,5 (61,25-75,75)	77,5 (66,00-95,50)	76,0 (70,00-95,5)
NT, град.	41,0 (36,00-46,00)	48,0 (46,00-50,00)	48,0 (39,50-51,00)	40,0 (38,00-45,75)	41,5 (33,25-44,00)	55,0 (41,25-60,50)	57,0 (43,00-63,50)
С ₆ Т, град.	21,0 (14,00-24,00)	17,0 (11,00-19,00)	14,5 (11,75-17,25)	18,0 (12,00-22,00)	18,0 (14,25-25,00)	15,0 (11,50-27,25)	18,0 (-2,50-24,00)
С ₇ Т, град.	9,0 (6,00-12,00)	17,0 (11,00-17,00)	4,5 (-0,50-10,00)	9,0 (6,00-13,00)	8,5 (3,00-13,00)	5,0 (2,25-19,50)	11,0 (7,00-18,50)
SCA, град.	80,0 (74,00-86,00)	81,0 (75,00-90,00)	82,5 (79,50-88,25)	86,0 (75,00-89,00)	84,5 (76,75-90,00)	82,5 (77,00-87,25)	80,0 (72,00-94,25)
cSVA, мм	24,0 (17,00-32,00)	24,5 (18,00-29,00)	13,0 (2,25-27,25)	19,0 (15,00-23,25)	20,0 (14,00-23,00)	18,0 (11,50-32,00)	24,0 (8,50-29,50)

Таблица 2

Значимость различий параметра NT между уровнями поражения до и после хирургического лечения (критерий Данна с поправкой Холмса, $p \leq 0,025$)

Уровни	Норма	Ос—С ₂ до операции	Ос—С ₂ после операции	С ₂ —С ₆ до операции	С ₂ —С ₆ после операции	С ₇ —Th ₁ до операции
С ₇ —Th ₁ после операции	Z = -3,1192 p = 0,0190	Z = 0,0092 p = 0,4963	Z = -1,1567 p = 1,0000	Z = -2,7781 p = 0,0519	Z = -2,9999 p = 0,0270	Z = -0,3755 p = 1,0000
С ₇ —Th ₁ до операции	Z = -2,5132 p = 0,1077	Z = 0,3086 p = 1,0000	Z = -0,8020 p = 1,0000	Z = -2,2597 p = 0,1907	Z = -2,4745 p = 0,1134	—
С ₂ —С ₆ после операции	Z = 0,3517 p = 1,0000	Z = 2,2460 p = 0,1853	Z = 1,2640 p = 1,0000	Z = 0,2717 p = 1,0000	—	—
С ₂ —С ₆ до операции	Z = 0,0217 p = 0,9827	Z = 2,0807 p = 0,2435	Z = 1,0753 p = 1,0000	—	—	—
Ос—С ₂ после операции	Z = -1,1568 p = 1,0000	Z = 0,9636 p = 1,0000	—	—	—	—
Ос—С ₂ до операции	Z = -2,2058 p = 0,1918	—	—	—	—	—

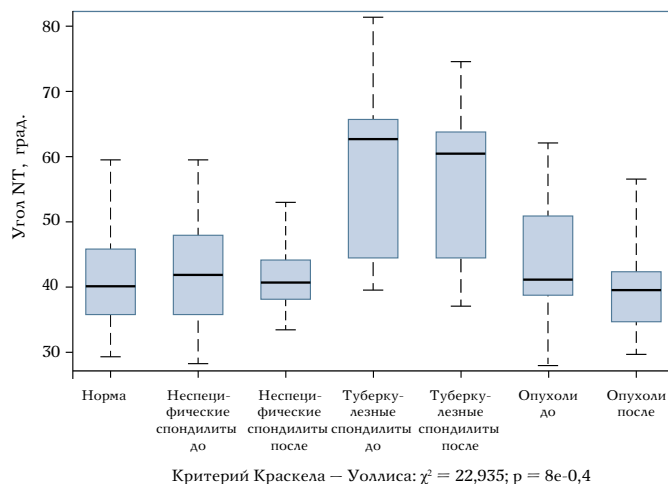


Рис. 3

Изменение параметра NT при деструктивной патологии различной этиологии до и после хирургической коррекции

Для оценки изменений сагиттального баланса в зависимости от этиологии процесса и отношения к хирургическому лечению (до/после) без учета уровня поражения данные разделены на нозологические группы. Результаты представлены в табл. 3.

Согласно полученным результатам, наибольшие изменения параметров, особенно TIA, NT, CeT, SCA и cSVA, отмечены при туберкулезном

спондилите, что отражено в девиации медианы и широком межквартильном размахе. Это соответствует большей протяженности поражения и наиболее частному вовлечению в патологический процесс шейно-грудного перехода (основания шеи) при данной этиологии [6].

В то же время статистически значимые отличия зафиксированы лишь для параметра NT (критерий Краскела – Уоллиса: $\chi^2 = 22,935$; df = 6;

$p = 8e-0,4$). Для оценки межгрупповых различий выполнено попарное сравнение групп с использованием апостериорного критерия Данна с поправкой методом Холмса (рис. 3; табл. 4).

Апостериорный тест выявил различия параметра NT между послеоперационными группами туберкулезных спондилитов и опухолей ($p = 0,0016$), а также между группой туберкулезных спондилитов после операции и группой нормы ($p = 0,0013$). Отличие параметра NT у прооперированных пациентов с туберкулезным спондилитом от нормального, возможно, связано с протяженной реконструкцией в области шейно-грудного перехода.

В связи с наличием в когорте пациентов с протяженной деструкцией позвонков решено разделить детей на 2 группы: с короткой деструкцией (2 и менее позвонков) и протяженной деструкцией (3 и более). Такое разделение обусловлено данными о влиянии на исход хирургического лечения повреждения трех и более позвонков [7–10]. Результаты представлены в табл. 5.

Статистически значимые отличия зафиксированы для параметра NT (критерий Краскела – Уоллиса: $\chi^2 = 17,856$; df = 4; $p = 0,0013$) и для параметра cSVA (критерий Краскела – Уоллиса: $\chi^2 = 11,6$; df = 4; $p = 0,0206$; рис. 4, 5).

Таблица 3
Изменение параметров в зависимости от этиологии деструкции до и после хирургической коррекции, Me (Q_1 – Q_3)

Параметры	Норма	Спондилиты				Опухоли	
		неспецифические до операции	неспецифические после операции	туберкулезные до операции	туберкулезные после операции	до операции	после операции
Ос–С ₂ , град.	–23,0 (от –29,00 до –18,00)	–19,5 (от –24,50 до –13,75)	–23,5 (от –29,25 до –17,75)	–26,0 (от –33,00 до –20,00)	–20,0 (от –24,00 до –16,00)	–33,0 (от –35,00 до –21,00)	–23,0 (от –28,00 до –20,00)
С ₂ –С ₇ , град.	–7,0 (–18,00–2,00)	–4,0 (–11,00–1,50)	–10,5 (–12,50–1,00)	–10,0 (–31,00–1,00)	–22,0 (от –31,00 до –3,00)	–6,0 (–14,00–0,50)	–8,5 (от –22,25 до –3,00)
С ₇ –S, град.	24,0 (18,00–30,00)	21,0 (16,50–30,00)	22,5 (15,75–26,25)	35,0 (16,00–38,00)	26,0 (19,00–35,00)	22,0 (17,00–31,00)	25,0 (14,00–31,25)
Т ₁ –S, град.	28,0 (22,00–35,25)	24,0 (16,50–31,00)	27,0 (20,75–29,00)	40,0 (22,00–44,00)	30,0 (17,00–35,00)	25,0 (20,50–33,50)	27,5 (20,50–33,75)
Т ₁ –А, град.	69,5 (61,25–78,00)	65,0 (59,75–74,75)	68,0 (63,00–73,50)	100,0 (68,00–124,00)	75,0 (69,00–94,00)	71,5 (61,25–79,75)	65,0 (58,75–75,25)
NT, град.	41,0 (36,00–46,00)	43,5 (36,50–48,00)	42,0 (38,00–45,50)	61,0 (46,00–65,00)	57,0 (46,00–62,00)	42,5 (38,00–50,25)	39,0 (31,75–44,00)
СеТ, град.	21,0 (14,00–24,00)	15,0 (11,50–18,75)	17,0 (14,75–19,75)	20,0 (–1,00–36,00)	18,0 (4,00–25,00)	17,0 (12,00–22,50)	15,5 (11,25–21,75)
СгТ, град.	9,0 (6,00–12,00)	9,0 (3,25–12,50)	9,0 (6,75–11,25)	20,0 (2,00–22,00)	8,0 (3,00–16,00)	9,0 (6,00–16,50)	9,5 (2,25–14,75)
SCA, град.	80,0 (74,00–86,00)	88,0 (78,75–90,25)	86,0 (82,50–93,50)	87,0 (86,00–102,00)	76,5 (69,50–90,50)	82,5 (72,50–87,00)	81,0 (79,00–87,00)
cSVA, мм	24,0 (17,00–32,00)	20,0 (13,00–23,00)	20,5 (10,00–24,25)	32,0 (7,00–38,00)	17,0 (14,00–26,00)	18,5 (15,00–28,50)	21,0 (7,00–27,00)

Таблица 4

Значимость различий параметра NT между деструктивными процессами различной этиологии до и после хирургического лечения (критерий Данна с поправкой Холмса; $p \leq 0,025$)

Нозологические группы	Норма	Спондилиты				Опухоли до операции	
		неспецифические до операции	неспецифические после операции	туберкулезные до операции	туберкулезные после операции	туберкулезные после операции	до операции
Опухоли после операции	Z = 0,8593 p = 1,0000	Z = 1,2589 p = 1,0000	Z = 0,8870 p = 1,0000	Z = 2,8066 p = 0,0476	Z = 3,7803 p = 0,0016	Z = 1,4308 p = 0,8387	–
Опухоли до операции	Z = –0,9362 p = 1,0000	Z = –0,0866 p = 0,9310	Z = –0,3767 p = 1,0000	Z = 1,8720 p = 0,3673	Z = 2,5275 p = 0,0919	–	–
Туберкулезные спондилиты после операции	Z = –3,8375 p = 0,0013	Z = –2,4686 p = 0,1017	Z = –2,5975 p = 0,0845	Z = 0,0501 p = 0,4800	–	–	–
Туберкулезные спондилиты до операции	Z = –2,5747 p = 0,0853	Z = –1,8757 p = 0,3945	Z = –2,0219 p = 0,3023	–	–	–	–
Неспецифические спондилиты после операции	Z = –0,3255 p = 1,0000	Z = 0,2812 p = 1,0000	–	–	–	–	–
Неспецифические спондилиты до операции	Z = –0,7428 p = 1,0000	–	–	–	–	–	–

Таблица 5

Изменение параметров в зависимости от протяженности деструкции до и после хирургической коррекции, Ме (Q_1-Q_3)

Параметры	Норма	Короткая деструкция (до двух позвонков)		Протяженная деструкция (от трех позвонков)	
		до операции	после операции	до операции	после операции
Ос–С ₂ , град.	–23,0 (от –29,00 до –18,00)	23,0 (от –34,00 до –15,25)	–23,0 (от –29,00 до –17,25)	–29,5 (от –36,00 до –21,50)	–21,0 (от –25,00 до –19,00)
С ₂ –С ₇ , град.	–7,0 (–18,00–2,00)	–6,0 (–13,50–1,25)	–10,0 (–18,00–1,50)	–2,5 (–24,50–0,75)	–21,5 (от –26,50 до –2,25)
С ₇ S, град.	24,0 (18,00–30,00)	20,5 (16,75–31,25)	25,0 (14,50–28,50)	31,0 (18,75–37,25)	24,0 (17,50–36,00)
Th ₁ S, град.	28,0 (22,00–35,25)	24,0 (19,75–33,00)	28,0 (20,00–32,50)	35,5 (19,75–43,00)	29,5 (12,75–36,00)
Т1А, град.	69,5 (61,25–78,00)	68,0 (60,50–77,00)	66,5 (61,75–76,00)	90,5 (68,25–118,00)	74,0 (65,75–94,75)
NT, град.	41,0 (36,00–46,00)	42,0 (38,00–48,00)	42,5 (35,50–45,00)	55,5 (48,50–64,00)	56,5 (45,00–62,75)
СеТ, град.	21,0 (14,00–24,00)	17,5 (12,50–22,25)	16,0 (12,00–20,50)	12,0 (2,00–30,25)	19,5 (0,75–26,50)
CrT, град.	9,0 (6,00–12,00)	8,5 (4,75–13,50)	9,0 (4,00–13,00)	19,5 (7,00–21,50)	7,0 (2,50–16,00)
SCA, град.	80,0 (74,00–86,00)	84,0 (75,00–89,00)	85,0 (80,00–90,00)	86,5 (84,00–95,25)	75,0 (68,00–86,50)
cSVA, мм	24,0 (17,00–32,00)	19,0 (13,50–23,75)	21,0 (12,50–27,00)	35,0 (17,75–38,00)	14,0 (7,75–24,50)

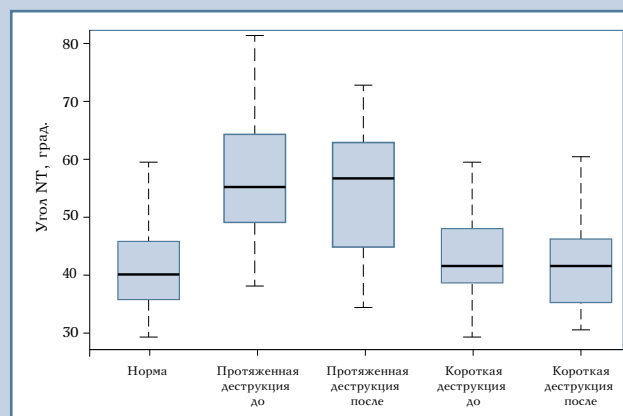


Рис. 4

Изменение параметра NT при различной протяженности деструкции позвонков до и после хирургической коррекции

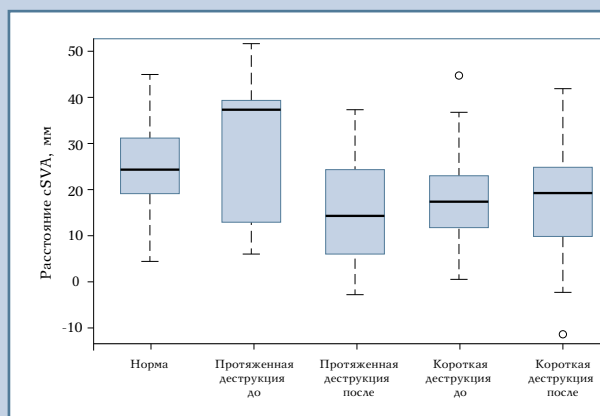


Рис. 5

Изменение параметра cSVA при различной протяженности деструкции позвонков до и после хирургической коррекции

Межгрупповое различие для параметра NT выявлялось попарным сравнением групп с использованием апостериорного критерия Данна с поправкой Холмса (табл. 6).

Отмечено, что параметр NT отличается от нормы при протяженной деструкции как до хирургического лечения, так и после. Короткая деструкция не приводит к значимому изменению параметра.

Для параметра cSVA данный тест не показал значимых различий, несмотря на критерий Краскела – Уоллиса, поэтому решено

использовать попарное сравнение при помощи критерия Манна – Уитни (табл. 7).

Критерий Манна – Уитни выявил значимые отличия от нормы коротких деструкций, которые перестали быть таковыми после хирургической коррекции. При этом параметр cSVA при протяженных деструкциях отличается от нормы только после хирургической реконструкции, что, возможно, связано со сложностью восстановления нормальной анатомии при поражении большого количества позвонков.

Обсуждение

Полученные результаты могут быть объяснены как относительно малым количеством наблюдений в каждой группе и, соответственно, невозможностью уловить патологические отклонения от нормы, так и широкими возможностями адаптации уникального по своей мобильности шейного отдела позвоночника, компенсирующими данные отклонения.

Изучение изменений параметров сагиттального баланса представляет большой интерес с точки зрения объективной оценки патологии при дефор-

Таблица 6

Значимость различий параметра NT между нормой и деструктивными процессами различной протяженности до и после хирургического лечения (критерий Данна с поправкой Холмса; $p \leq 0,025$)

Протяженность деструкции	Норма	Протяженные деструкции ($n \geq 3$) до операции	Протяженные деструкции ($n \geq 3$) после операции	Короткие деструкции ($n < 3$) до операции
Короткие деструкции ($n < 3$) после операции	$Z = -0,0393$ $p = 0,4843$	$Z = 2,6906$ $p = 0,0250$	$Z = 2,94078$ $p = 0,0147$	$Z = 0,7399$ $p = 0,6890$
Короткие деструкции ($n < 3$) до операции	$Z = -0,9177$ $p = 0,7176$	$Z = 2,2813$ $p = 0,0563$	$Z = 2,4170$ $p = 0,0469$	—
Протяженные деструкции ($n \geq 3$) после операции	$Z = -3,2457$ $p = 0,0059$	$Z = 0,3915$ $p = 0,6954$	—	—
Протяженные деструкции ($n \geq 3$) до операции	$Z = -2,8520$ $p = 0,0174$	—	—	—

Таблица 7

Значимость различий параметра cSVA между нормой и деструктивными процессами различной протяженности до и после хирургического лечения (критерий Манна — Уитни, $p < 0,05$)

Протяженность деструкции	Норма	Протяженные деструкции ($n \geq 3$) до операции	Протяженные деструкции ($n \geq 3$) после операции	Короткие деструкции ($n < 3$) до операции
Короткие деструкции ($n < 3$) после операции	$W = 1347,5$ $p = 0,0672$	$W = 125$ $p = 0,1428$	$W = 148$ $p = 0,3801$	$W = 362$ $p = 0,6511$
Короткие деструкции ($n < 3$) до операции	$W = 1243$ $p = 0,0195$	$W = 109$ $p = 0,1401$	$W = 130$ $p = 0,4225$	—
Протяженные деструкции ($n \geq 3$) после операции	$W = 621$ $p = 0,0212$	$W = 54$ $p = 0,1002$	—	—
Протяженные деструкции ($n \geq 3$) до операции	$W = 159,5$ $p = 0,2745$	—	—	—

мациях позвоночника различного генеза, а также последующей оценки послеоперационной коррекции.

Поиск литературы показывает полное отсутствие информации, освещающей патологические изменения сагиттального профиля шейного отдела при деструкции позвонков. При этом крайне небольшое количество работ посвящено анализу сагиттального баланса у детей при врожденной патологии шейного отдела, а также компенсаторным изменениям в шее при деформациях нижележащих отделов.

А.А. Кулешов с соавт. [4] отмечают увеличение параметров C_7S , Th_1S , TIA у детей с синдромом Дауна, а также уменьшение по сравнению с нормой атлантаксиальных параметров (ADI , $SAC-C_1$, $SAC-C_1/SAC-C_4$), что может быть причиной развития нестабильности на уровне C_1-C_2 даже при отсутствии зубовидной кости.

Wu et al. [5] при сравнении показателей шейного сагиттального баланса у здоровых детей и у детей с установленной низкорослостью обнаружили значимое усиление шейного лордоза, T_1S , грудного кифоза и тенденцию к формированию сутулой осанки.

У подростков при болезни Шейермана и локализации вершины кифоза в грудном отделе исследователи отмечают увеличение C_2-C_7 , SeT и TIA по сравнению с нормой и локализацией кифоза в грудопоясничном переходе [11, 12], при этом усиление шейного лордоза происходит за счет C_4-C_6 сегментов [12].

В ряде работ изучается влияние сколиотической деформации Lenke типов 1 и 2 на сагиттальный профиль шейного отдела. Исследователи единогласно утверждают, что выбор верхнего фиксируемого позвонка (Th_2-Th_4) влияет на коррекцию

уровня надплечий и что шейный лордоз находится в прямой зависимости от грудного кифоза на уровне Th_1-Th_5 (при гипокифозе на данном уровне уменьшается шейный лордоз) и параметра Th_1S [13–17]. Но при этом Legarreta et al. [16] и Ketenci et al. [17] указывают на то, что выбор верхнего фиксируемого позвонка от Th_3 и выше приводит к значительному уменьшению шейного лордоза, в то время как остальные пишут об отсутствии такого влияния. При сколиозах типов Lenke 3 и 6 Yanik et al. [18] выявили зависимость шейного лордоза только от параметра Th_1S и кифоза на уровне Th_5-Th_{12} .

Han et al. [19] при хирургическом лечении ранних сколиозов при помощи растущих стержней обращают внимание на наибольшее влияние на дисбаланс шейного отдела позвоночника и, соответственно, на критическое

изменение параметров C_2-C_7 , cSVA и Th_1S проксимального смежного кифоза, избыточной коррекции грудного кифоза и самого параметра Th_1S .

Характерно, что Lee et al. [20] в рамках обзора большого числа литературных источников отметили, что большинство исследователей приводят сопоставимые величины NT. Предположив постоянство показателя, авторы представили алгоритм выбора уровня корригирующих вертебротомий при деформациях шейного отдела позвоночника в зависимости от параметра Th_1S и состояния шейно-грудного перехода и по собственным результатам получили статистически значимое изменение TIA и T_1S до и после операции с сохранением значения NT на дооперационном уровне. Они также указывают на возможные варианты компенсации/декомпенсации шейного кифоза за счет грудного и поясничного отделов.

Таким образом, можно констатировать, что изучение сагиттального баланса шейного отдела у детей и подростков при различной патологии является одной из наименее изученных тем современной вертебрологии. Наши данные лишь представляют ограниченную информацию, фокусирующуюся на одном из редких вариантов такой патологии – деструктивных поражениях шейных позвонков.

Заключение

Анализ изменений параметров сагиттального баланса шейного отдела позвоночника у детей при деструктивных процессах выявляет уровневую зависимость: при субокципитальном поражении больше изменялись параметры $Os-C_2$ и CrT, при субаксиальном – $Os-C_2$, C_2-C_7 , а при поражении шейно-грудного перехода – C_2-C_7 , C_7S , Th_1S , TIA, NT, CeT, CrT.

Установлена зависимость изменения параметров от числа пораженных позвонков, наибольшее значение которого наблюдали при туберкулезном спондилите. При этом самыми чувствительными параметрами, показывающими статистически значимые отклонения от нормы, являются NT и cSVA.

Требуется дальнейшее изучение вопросов биомеханики позвоночника в патологических условиях, что позволит лучше понимать происходящие изменения и предлагать эффективные способы коррекции и восстановления нормальной анатомии сегмента.

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

1. 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 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]. DOI: 10.14531/ss2022.4.19-29
2. Qi H, Zhao Z, Gao X, Wang C, Zhang Z, Su D, Zu F, Xue R, Hou Z, Chen W, Zhang D. Normal spinopelvic parameters and correlation analysis in 217 asymptomatic children. Eur Spine J. 2024;33:2569–2576. DOI: 10.1007/s00586-024-08311-9
3. Qi H, Zhao Z, Zu F, Wang C, Wang C, Zhang Z, Ren J, Xue R, Wang Z, Hou Z, Chen W, Zhang D. Investigation of spinopelvic sagittal alignment and its correlations in asymptomatic pediatric populations. Sci Rep. 2025;15:6847. DOI: 10.1038/s41598-025-91481-3
4. 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. [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: 10.17816/vto624245
5. Wu TH, Chen LL, Wen JX, Han SM, Zhong ZW, Guo Z, Cao L, Wu HZ, Yu BH, Gao BL, Wu WJ, Liu JC. Spinal sagittal and coronal morphology characteristics in children with short stature. Quant Imaging Med Surg. 2025;15:1383–1395. DOI: 10.21037/qims-24-992
6. Глухов Д.А., Мушкин А.Ю. Структура и клинические проявления опухолевой и инфекционно-воспалительной деструкции шейных позвонков у детей: данные 20-летней моноцентровой когорты // Медицинский альянс. 2023. Т. 11, № 4. С. 88–96. [Glukhov DA, Mushkin AYU. Structure and clinical manifestations of tumor and infectious destructive lesions of the cervical spine in children: 20-year single-center cohort data. Medical alliance. 2023;11(4):88–96]. DOI: 10.36422/23076348-2023-11-4-88-96
7. Vaccaro AR, Cirello J. The use of allograft bone and cages in fractures of the cervical, thoracic, and lumbar spine. Clin Orthop Relat Res. 2002;(394):19–26. DOI: 10.1097/00003086-200201000-00003
8. Daffner SD, Wang JC. Anterior cervical fusion: the role of anterior plating. Instr Course Lect. 2009;58:689–698.
9. Setzer M, Eleraky M, Johnson WM, Aghayev K, Tran ND, Vrionis FD. Biomechanical comparison of anterior cervical spine instrumentation techniques with and without supplemental posterior fusion after different corpectomy and discectomy combinations: Laboratory investigation. J Neurosurg Spine. 2012;16:579–584. DOI: 10.3171/2012.2.SPINE11611
10. Глухов Д.А., Мушкин А.Ю. Хирургическое лечение опухолей и спондилитов шейного отдела позвоночника у детей: что выявляет 20-летний моноцентровой опыт синдромного подхода? // Хирургия позвоночника. 2025. Т. 22, № 1. С. 79–87. [Glukhov DA, Mushkin AYU. Surgical treatment of tumors and spondylitis of the cervical spine in children: what does 20-year monocentric experience with the syndromic approach reveal? Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2025;22(1):79–87]. DOI: 10.14531/ss2025.1.79-87

11. Jiang L, Qiu Y, Xu L, Liu Z, Wang Z, Sha S, Zhu Z. Sagittal spinopelvic alignment in adolescents associated with Scheuermann's kyphosis: a comparison with normal population. *Eur Spine J*. 2014;23:1420–1426. DOI: 10.1007/s00586-014-3266-2
12. Janusz P, Tyrakowski M, Kotwicki T, Siemionow K. Cervical sagittal alignment in Scheuermann disease. *Spine*. 2015;40:E1226–E1232. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001129
13. Hwang SW, Samdani AF, Tantorski M, Cahill P, Nydick J, Fine A, Betz RR, Antonacci MD. Cervical sagittal plane decompensation after surgery for adolescent idiopathic scoliosis: an effect imparted by postoperative thoracic hypokyphosis. *J Neurosurg Spine*. 2011;15:491–496. DOI: 10.3171/2011.6.SPINE1012
14. Zhao J, Chen Z, Yang M, Li G, Zhao Y, Li M. Does spinal fusion to T2, T3, or T4 affects sagittal alignment of the cervical spine in Lenke 1 AIS patients: A retrospective study. *Medicine (Baltimore)*. 2018;97:e9764. DOI: 10.1097/MD.00000000000009764
15. Moreira Pinto E, Alves J, de Castro AM, Silva M, Miradouro J, Teixeira A, Miranda A. High thoracic kyphosis: impact on total thoracic kyphosis and cervical alignment in patients with adolescent idiopathic scoliosis. *Spine Deform*. 2020;8:647–653. DOI: 10.1007/s43390-020-00069-6
16. Legarreta CA, Barrios C, Rositto GE, Reviriego JM, Maruenda JJ, Escalada MN, Piza-Vallespir G, Burgos J, Hevia E. Cervical and thoracic sagittal misalignment after surgery for adolescent idiopathic scoliosis: a comparative study of all pedicle screws versus hybrid instrumentation. *Spine*. 2014;39:1330–1337. DOI: 10.1097/BRS.0000000000000403
17. Ketenci IE, Yanik HS, Erdem S. The effect of upper instrumented vertebra level on cervical sagittal alignment in Lenke 1 adolescent idiopathic scoliosis. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2018;104:623–629. DOI: 10.1016/j.otsr.2018.06.003
18. Yanik HS, Ketenci IE, Erdem S. Cervical sagittal alignment in extensive fusions for Lenke 3C and 6C scoliosis: the effect of upper instrumented vertebra. *Spine*. 2017;42:E355–E362. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001796
19. Han B, Hai JJ, Pan A, Wang Y, Hai Y. Machine learning analysis of cervical balance in early-onset scoliosis post-growing rod surgery: a case-control study. *Sci Rep*. 2025;15:2024. DOI: 10.1038/s41598-025-86330-2
20. 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

Адрес для переписки:

Глухов Дмитрий Александрович
Россия, 199004, Санкт-Петербург, Кадетская линия В.О., 13–15,
Клиника высоких медицинских технологий
им. Н.И. Пирогова СПбГУ,
dmitriy.a.glukhov@gmail.com

Address correspondence to:

Glukhov Dmitrii Aleksandrovich
Saint Petersburg State University Hospital,
13/15 Kadetskaia Line, Vasilyevsky Island,
St. Petersburg, 199004, Russia,
dmitriy.a.glukhov@gmail.com

Статья поступила в редакцию 20.05.2025

Рецензирование пройдено 30.05.2025

Подписано в печать 02.06.2025

Received 20.05.2025

Review completed 30.05.2025

Passed for printing 02.06.2025

Дмитрий Александрович Глухов, канд. мед. наук, врач-травматолог-ортопед, Клиника высоких медицинских технологий им. Н.И. Пирогова СПбГУ, Россия, 199004, Санкт-Петербург, Кадетская линия В.О., 13–15, eLibrary SPIN: 3376-2569, ORCID: 0000-0002-6880-8562, dmitriy.a.glukhov@gmail.com; Александр Юрьевич Мушкин, д-р мед. наук, профессор, главный научный сотрудник, руководитель центра патологии позвоночника, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии, Россия, 194064, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 32; профессор кафедры травматологии и ортопедии, Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова, Россия, 197022, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, 6–8, eLibrary SPIN: 9373-4335, ORCID: 0000-0002-1342-3278, aymushkin@mail.ru.

Dmitrii Aleksandrovich Glukhov, MD, PhD, trauma orthopedist, Saint Petersburg State University Hospital, 13/15 Kadetskaia Line, Vasilyevsky Island, St. Petersburg, 199004, Russia, eLibrary SPIN: 3376-2569, ORCID: 0000-0002-6880-8562, dmitriy.a.glukhov@gmail.com; Aleksandr Yuryevich Mushkin, DMSc, Prof., Leading Researcher, Head of the Scientific and Clinical Center for Spinal Pathology of Saint Petersburg Research Institute of Phthiopulmonology; 32 Politekhnicheskaya str., St. Petersburg, 194064, Russia; Professor of Traumatology and Orthopedics Department, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University; 6-8 L'va Tolstogo str., Saint Petersburg, Russia, 197022, eLibrary SPIN: 9373-4335, ORCID 0000-0002-1342-3278, aymushkin@mail.ru.