

СТАТЬИ

УДК 616.711-007.55-053.2-071.3

**ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РОТАЦИИ ПОЗВОНКОВ
У ДЕТЕЙ С ИДИОПАТИЧЕСКИМ СКОЛИОЗОМ****^{1,2}Кокушин Д.Н., ^{1,2}Виссариев С.В., ¹Хусайнов Н.О., ³Соколова В.В.**¹ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Пушкин, e-mail: partgerm@yandex.ru;²ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург;³ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург

Использование тотальной транспедикулярной фиксации, особенно у детей с тяжелыми формами идиопатического кифосколиоза, позволяет достичь радикальной коррекции деформации позвоночника, получить истинную деротацию позвонков, стабильную фиксацию. Знание анатомо-антропометрических особенностей и пространственных взаимоотношений костных элементов позвонков позволяет провести оптимальное предоперационное планирование, обеспечивающее корректное проведение транспедикулярных винтов в деформированные позвонки у пациентов детского возраста с идиопатическим сколиозом. Цель исследования – описание особенностей измерения ротации периапикальных и апикальных позвонков у детей с тяжелыми формами идиопатического сколиоза. Проведен анализ лучевого исследования 40 пациентов в возрасте от 13 до 18 лет с идиопатическим сколиозом 3–4 степени. Оценивали угол основной сколиотической деформации. По данным компьютерной томографии позвоночника оценивали ротацию апикального позвонка, проксимального и дистального периапикальных позвонков основной сколиотической дуги деформации. У 20 пациентов с идиопатическим сколиозом грудной локализации угол сколиотической деформации составил 34–1080 (в среднем – 61). Угол ротации апикального позвонка – 9,3–40,20 (среднее – 20,6), угол ротации проксимального периапикального позвонка – 2,1–31,60 (среднее – 17,0), угол ротации дистального периапикального позвонка – 6,3–30,00 (среднее – 16,7). При груднопоясничной и поясничной локализации (20 наблюдений) угол сколиотической деформации – 40–840 (в среднем – 61,3). Угол ротации апикального позвонка – 17,7–50,50 (среднее – 34,0), угол ротации проксимального периапикального позвонка – 15,3–42,80 (среднее – 32,7), угол ротации дистального периапикального позвонка – 16,2–35,70 (среднее – 25,8). Таким образом, преимущество использования способа измерения ротации периапикальных и апикального позвонков у детей с идиопатическим сколиозом заключается в повышении точности определения ротации апикальной зоны сколиотической деформации позвоночника, позволяющей учесть пространственное положение костных структур позвонков для осуществления корректной установки транспедикулярных винтов, выполнения максимально возможной деротации тел позвонков и предотвращения перелома костных структур опорными элементами металлоконструкции, что позволяет получить радикальную коррекцию деформации позвоночника и повысить качество жизни пациента.

Ключевые слова: идиопатический сколиоз, хирургическое лечение, транспедикулярная фиксация, компьютерная томография, апикальная ротация, позвонки, дети

**FEATURES OF DETERMINING VERTEBRAL ROTATION
IN CHILDREN WITH IDIOPATHIC SCOLIOSIS****^{1,2}Kokushin D.N., ^{1,2}Vissarionov S.V., ¹Khusainov N.O., ³Sokolova V.V.**¹G.I. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery of Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Pushkin, e-mail: partgerm@yandex.ru;²I.I. Mechnikov North-Western State Medical University of Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg;³Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg

The use of total transpedicular fixation, especially in children with severe forms of idiopathic kyphoscoliosis, allows achieving radical correction of spinal deformity, obtaining true vertebral derotation, stable fixation. Knowledge of anatomical and anthropometric features and spatial relationships of the bone elements of the vertebrae, allows for optimal preoperative planning, ensuring the correct implementation of transpedicular screws into deformed vertebrae in children with idiopathic scoliosis. The aim of the study is to describe the features of measuring the rotation of the periapical and apical vertebrae in children with severe forms of idiopathic scoliosis. The analysis of radiation examination of 40 patients with idiopathic scoliosis of 3–4 degrees aged from 13 to 18 years was carried out. The angle of the main scoliotic deformation was evaluated. According to computed tomography of the spine, the rotation of the apical vertebra, proximal and distal periapical vertebrae of the main scoliotic arch of deformation was evaluated. In 20 patients with idiopathic scoliosis of thoracic localization, the angle of scoliotic deformation was 34–1080 (on average – 61). The rotation angle of the apical vertebra is 9.3–40.20 (average – 20.6), the rotation angle of the proximal periapical vertebra is 2.1–31.60 (average – 17.0), the rotation angle of the distal periapical vertebra is 6.3–30.00 (average – 16.7). With thoracolumbar and lumbar localization (20 observations), the angle of scoliotic deformation is 40–840 (on average – 61.3). The rotation angle of the apical vertebra is 17.7–50.50 (average – 34.0), the rotation angle of the proximal periapical vertebra is 15.3–42.80 (average – 32.7), the rotation angle of the distal periapical vertebra is 16.2–35.70 (average – 25.8).

Thus, the advantage of using the method of measuring the rotation of the periapical and apical vertebrae in children with idiopathic scoliosis is to increase the accuracy of determining the rotation of the apical zone of scoliotic spinal deformity, which allows taking into account the spatial position of the bone structures of the vertebrae for the correct installation of transpedicular screws, performing the maximum possible derotation of the vertebral bodies and preventing fracture of bone structures by supporting elements of the metal structure, this makes it possible to obtain a radical correction of spinal deformity and improve the quality of life of the patient.

Keywords: idiopathic scoliosis, surgical treatment, transpedicular fixation, computed tomography, apical rotation, vertebra, children

Современные подходы к хирургическому лечению деформаций позвоночника у детей с идиопатическим сколиозом базируются на концепции применения в качестве опорных элементов металлоконструкции транспедикулярных винтов, устанавливаемых на всем протяжении искривления позвоночного столба при выполнении инструментального спондилодеза. Использование тотальной транспедикулярной фиксации, особенно у детей с тяжелыми формами идиопатического кифосколиоза, позволяет достичь радикальной коррекции деформации позвоночника, получить истинную деротацию позвонков, входящих в апикальную зону сколиотической дуги, стабильную фиксацию и сохранение результатов в отдаленном послеоперационном периоде наблюдения [1, 2]. Знание анатомо-антропометрических особенностей и пространственных взаимоотношений костных элементов позвонков, обусловленных закономерностями асимметричного роста на фоне сколиотического процесса, позволяет провести оптимальное предоперационное планирование, обеспечивающее корректное проведение транспедикулярных винтов в деформированные позвонки у пациентов детского возраста с идиопатическим сколиозом. Немаловажную роль в этом играет точный выбор уровня апикального позвонка и определение угла его ротации [3]. В литературе описаны различные способы, предназначенные для определения угла ротации торсионно измененных позвонков при идиопатическом сколиозе, базирующихся на анализе данных, полученных методом компьютерно-томографического сканирования позвоночника. Однако необходимо отметить, что данные варианты измерений пространственной ориентации структурально измененных сегментов позвоночного столба позволяют оценить в основном только ротацию апикального позвонка без учета сложных пространственных структуральных изменений костных компонентов деформированных позвонков, образующих сколиотическую дугу искривленного позвоночника. Необходимо отметить, что закономерности изменения костных структур позвонков и их пространственных взаимоотношений имеют отличия при отдельных

типах сколиотических деформаций [4–7]. Значимость точного определения степени ротации позвонков играет существенную роль так же и при определении эффективности различных методик коррекции сколиотической деформации позвоночника в экспериментальных моделях у животных [8]. В то же время использование таких современных методов визуализации, как EOS, уступает по точности определения ротации позвонков по сравнению с методом компьютерно-томографического сканирования позвоночника у пациентов с идиопатическим сколиозом, особенно при тяжелых формах этого заболевания [9].

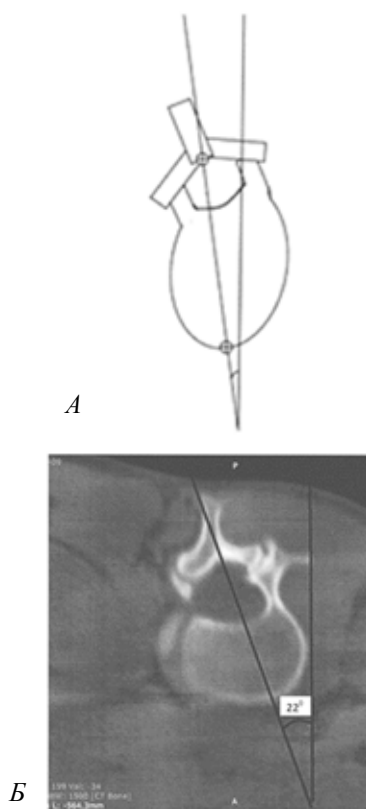
Цель исследования – описание особенностей измерения ротации периапикальных и апикальных позвонков у детей с тяжелыми формами идиопатического сколиоза.

Материалы и методы исследования

В исследование вошли 40 пациентов в возрасте от 13 до 18 лет с идиопатическим сколиозом 3–4 степени. У 20 детей основная правосторонняя сколиотическая дуга локализовалась в грудном отделе позвоночника, у 20 пациентов отмечена левосторонняя грудопоясничная/поясничная дуга. На обзорных спондилограммах по методу Cobb'a определяли угол основной сколиотической деформации. По данным компьютерно-томографического сканирования позвоночника оценивали ротацию апикального позвонка, ротацию проксимального и дистального периапикальных позвонков основной сколиотической дуги деформации.

Измерение ротации позвонков осуществляли следующим образом [10]: пациент укладывается на стол компьютерного томографа для проведения сканирования позвоночника. На полученном изображении апикального позвонка на мониторе компьютерного томографа врач лучевой диагностики проводит линию через точку на основании остистого отростка апикального позвонка и через точку на переднем крае тела апикального позвонка, максимально удаленную от точки на основании остистого отростка апикального позвонка. Затем врач лучевой диагностики проводит линию перпендикулярно к горизонтальной плоскости стола компьютерного томографа до пе-

ресечения с первой линией и измеряет угол ротации между линиями, величина угла ротации позвонка выводится на монитор компьютерного томографа (рисунок).



Способ измерения ротации тел позвонков у детей с идиопатическим сколиозом: А – схема; Б – КТ пациента с идиопатическим сколиозом (угол ротации апикального позвонка – 22 градуса)

Результаты исследования и их обсуждение

У пациентов с идиопатическим сколиозом грудной локализации угол сколиотической деформации, определенный по вышеописанной методике, составил от 34 до 108 градусов (в среднем – 61 градус). Угол ротации апикального позвонка колебался от 9,3 до 40,2 градусов (среднее – 20,6), угол ротации проксимального периапикального позвонка – от 2,1 до 31,6 градусов (среднее – 17,0), угол ротации дистального периапикального позвонка находился в пределах от 6,3 до 30,0 градусов (среднее – 16,7). Полученные данные отражены в табл. 1.

У пациентов с идиопатическим сколиозом груднопоясничной и поясничной локализации угол сколиотической деформации составил от 40 до 84 градусов (в среднем – 61,3 градус). Угол ротации апикального по-

звонка колебался от 17,7 до 50,5 градусов (среднее – 34,0), угол ротации проксимального периапикального позвонка – от 15, до 42,8 градусов (среднее – 32,7), угол ротации дистального периапикального позвонка находился в пределах от 16,2 до 35,7 градусов (среднее – 25,8). Полученные данные отражены в табл. 2.

Полученные результаты проведенного исследования показали высокую эффективность данного метода оценки пространственного положения позвонков апикальной и периапикальной зон дуги сколиотической деформации позвоночника с учетом ее локализации и направленности.

Точное определение величины патологической ротации апикального и периапикальных позвонков, образующих вершину дуги деформации у детей с идиопатическим сколиозом, затруднительно, особенно при тяжелых формах болезни, что обусловлено выраженными пространственными изменениями положения частей измененных позвонков, а также изменением плоскости сечения ротированных периапикальных и апикального позвонка. Исследователи, проводившие анализ по данной проблематике, указывают, что при наклоне позвонков более 20 градусов во фронтальной или сагиттальной плоскости происходит потеря точности оценки вращения позвонков во фронтальной плоскости, и предлагают использовать для этой цели компьютерную томографию [4]. Предложены различные варианты оценки апикальной ротации позвонков с анализом достоверности и поиском постоянных и надежных опорных точек на компьютерных томографических снимках сколиотических позвоночников [5]. При анализе осевой ротации, измеренной на 259 компьютерных томографических снимках 11 кадаверных позвонков из образцов со сколиозом, авторами отмечено, что точность значительно повышается при сканировании центральной компьютерной томографии (одинаковое расстояние до верха и низа тела позвонка) благодаря хорошей визуализации ориентиров и уменьшению последствий механического скручивания. Косое положение позвонков приводит к большему количеству ошибок [6]. Göçen S. с соавт., проведя анализ компьютерной томографии у 23 пациентов с подростковым идиопатическим сколиозом авторским методом с целью проверки его клинической надежности, пришли к выводу, что методы измерения КТ обладают хорошей надежностью для оценки деформации поперечной плоскости при идиопатическом сколиозе. Однако авторами не было выявлено статистических различий между результатами нового метода и ранее разработанными [7].

Таблица 1

Показатели ротации апикального и периапикальных позвонков у пациентов с идиопатическим сколиозом грудной локализации

Пациент	Угол сколиоза	Ротация апикального позвонка	Ротация проксимального периапикального позвонка	Ротация дистального периапикального позвонка
1	64	14,7	19,8	11,6
2	73	25,0	26,7	27,3
3	49	11,6	14,1	10,2
4	54	14,7	16,3	11,6
5	55	21,5	24,3	23,4
6	48	16,9	20,0	17,9
7	55	12,8	17,1	10,7
8	81	24,1	26,4	22,3
9	55	16,5	20,6	16,9
10	52	2,1	11,3	8,7
11	69	21,3	21,0	14,1
12	108	22,6	29,0	24,0
13	79	29,6	33,3	27,9
14	36	8,5	11,7	9,3
15	73	25,2	29,2	26,7
16	57	11,8	15,7	14,2
17	95	36,6	40,2	30,0
18	34	15,1	14,7	12,3
19	44	5,5	9,3	6,3
20	50	3,2	12,1	8,2

Таблица 2

Показатели ротации апикального и периапикальных позвонков у пациентов с идиопатическим сколиозом грудопоясничной и поясничной локализации

Пациент	Угол сколиоза	Ротация апикального позвонка	Ротация проксимального периапикального позвонка	Ротация дистального периапикального позвонка
1	40	17,8	19,3	16,4
2	41	18,7	20,2	16,9
3	42	19,5	21,3	17,3
4	46	19,9	22,0	18,9
5	48	24,1	23,9	19,7
6	49	25,9	25,9	22,3
7	51	28,4	26,3	23,0
8	52	33,5	27,9	23,3
9	59	35,3	31,8	24,3
10	62	36,4	32,8	25,9
11	63	36,7	35,5	26,7
12	65	36,9	36,4	26,9
13	67	37,0	37,3	28,1
14	71	39,0	40,3	29,0
15	73	39,2	40,5	29,8
16	74	40,9	43,5	31,8
17	76	41,0	47,4	32,6
18	80	41,2	48,2	33,4
19	83	41,3	49,0	34,4
20	84	41,7	50,5	35,5

Таким образом, недостатками вышеуказанных способов является невозможность достаточно точного определения ротации апикального позвонка и позвонков периапикальной зоны сколиотической дуги позвоночника. Разработанный нами способ измерения ротации позвонков у детей с идиопатическим сколиозом позволяет повысить точность определения ротации позвонков, образующих сколиотическую деформацию, что позволяет осуществить корректную установку транспедикулярных винтов в тела позвонков в ходе операции с достижением максимально возможной деротации тел позвонков и исключением перелома костных структур транспедикулярными винтами [10]. В свою очередь, радикальная коррекция деформации позвоночника, устранение болевого синдрома и достигаемый косметический результат операции положительно влияет на качество жизни и социальный статус пациента [11, 12]. Вопросы точного определения морфологии позвонков, их асимметрии важны при сравнительном анализе у здоровых людей и пациентов, страдающих подростковым идиопатическим сколиозом [13]. Также важное значение точность оценки ротации апикальных позвонков имеет при анализе различных типов деформации идиопатического сколиоза и трехмерного анализа полученной послеоперационной коррекции деформации позвоночника [14, 15].

Заключение

Таким образом, преимущество использования способа измерения ротации периапикальных и апикального позвонков у детей с идиопатическим сколиозом заключается в повышении точности определения ротации апикальной зоны сколиотической деформации позвоночника, позволяющей учесть пространственное положение костных структур позвонков для осуществления корректной установки транспедикулярных винтов, выполнения максимально возможной деротации тел позвонков и предотвращения перелома костных структур опорными элементами металлоконструкции, что позволяет получить радикальную коррекцию деформации позвоночника и повысить качество жизни пациента.

Список литературы

1. Виссарионов С.В., Кокушин Д.Н., Белянчиков С.М., Мурашко В.В., Картавенко К.А., Надиров Н.Н. Хирургическое лечение детей с идиопатическим сколиозом типа LENKE I с применением тотальной транспедикулярной фиксации // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2014. Т. 2. № 2. С. 3–8.
2. Виссарионов С.В., Филиппова А.Н., Кокушин Д.Н., Мурашко В.В., Белянчиков С.М., Хусанов Н.О. Хирургическая коррекция тяжелых форм идиопатического кифосколиоза у детей // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2019. Т. 7. Вып. 3. С. 5–14. DOI: 10.17816/PTORS735-14.
3. Sato T., Nojiri H., Okuda T., Miyagawa K., Kobayashi N., Takahashi R., Shimura A., Tamagawa S., Ohara Y., Hara T., Ishijima M. Three-dimensional morphological analysis of the thoracic pedicle and related radiographic factors in adolescent idiopathic scoliosis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2022 Sep 7. No. 23 (1). P. 847. DOI: 10.1186/s12891-022-05799-4.
4. Aaro S., Dahlborn M. Estimation of vertebral rotation and the spinal and rib cage deformity in scoliosis by computer tomography. *Spine (Phila Pa 1976).* 1981 Sep-Oct. No. 6 (5). P. 460–467. DOI: 10.1097/00007632-198109000-00007.
5. Ho E.K., Upadhyay S.S., Chan F.L., Hsu L.C., Leong J.C. New methods of measuring vertebral rotation from computed tomographic scans. An intraobserver and interobserver study on girls with scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976).* 1993 Jul. No. 18 (9). P. 1173–1177. DOI: 10.1097/00007632-199307000-00008.
6. Krismer M., Sterzinger W., Haid C., Frischhut B., Bauer R. Axial rotation measurement of scoliotic vertebrae by means of computed tomography scans. *Spine (Phila Pa 1976).* 1996 Mar 1. No. 21 (5). P. 576–581. DOI: 10.1097/00007632-199603010-00009.
7. Göçen S., Havitçioğlu H., Alici E. A new method to measure vertebral rotation from CT scans. *Eur Spine J.* 1999. No. 8 (4). P. 261–265. DOI: 10.1007/s005860050170.
8. Lemans J.V.C., Wijdicks S.P.J., Overweg G., Hekman E.E.G., Schlösser T.P.C., Castelein R.M., Verkerke G.J., Kruyt M.C. Three-Dimensional Correction of Scoliosis by a Double Spring Reduction system as a Dynamic Internal Brace: A Pre-clinical Study in Göttingen Minipigs. *Spine J.* 2022. Nov 4. DOI: 10.1016/j.spinee.2022.10.012.
9. Jiang F., Simões L., Ouellet J., Saran N. Accuracy of EOS Imaging Technology in Comparison to Computed Tomography in the Assessment of Vertebral Rotational Orientation in Instrumented Spines in Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976).* 2021 Jan 15. No. 46 (2). P. E87–E94. DOI: 10.1097/BRS.0000000000003739.
10. Виссарионов С.В., Кокушин Д.Н. Способ измерения ротации тел позвонков у детей с идиопатическим сколиозом // Патент РФ № 2587035. Патентообладатель ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера». 2016. Бюл. № 16.
11. Зайцева М.В., Соколова В.В. Результаты субъективной оценки родителями деятельности детской неврологической службы в условиях муниципального здравоохранения // Медицина и организация здравоохранения. 2019. Т. 4. № 2. С. 30–36.
12. Соколова В.В., Зайцева М.В. Оценка заболеваемости болезнями нервной системы детского населения Ростовской области // Медицина: теория и практика. 2019. Т. 4. № 2. С. 12–18.
13. Brink R.C., Schlösser T.P.C., Colo D., Vincken K.L., van Stralen M., Hui S.C.N., Chu W.C.W., Cheng J.C.Y., Castelein R.M. Asymmetry of the Vertebral Body and Pedicles in the True Transverse Plane in Adolescent Idiopathic Scoliosis: A CT-Based Study. *Spine Deform.* 2017 Jan. No. 5 (1). P. 37–45. DOI: 10.1016/j.jspd.2016.08.006.
14. Lee C.S., Hwang C.J., Jung H.S., Lee D.H., Park J.W., Cho J.H., Yang J.J., Park S. Association Between Vertebral Rotation Pattern and Curve Morphology in Adolescent Idiopathic Scoliosis. *World Neurosurg.* 2020 Nov. No. 143. P. e243–e252. DOI: 10.1016/j.wneu.2020.07.111.
15. Kaya O., Kara D., Gok H., Kahraman S., Sanli T., Karadereler S., Enercan M., Hamzaoglu A. The Importance of Lumbar Curve Flexibility and Apical Vertebral Rotation for the Prediction of Spontaneous Lumbar Curve Correction in Selective Thoracic Fusion for Lenke Type 1 and 2 C Curves: Retrospective Cohort Study with a Mean Follow-Up of More than 10 years. *Global Spine J.* 2022 Sep. No. 12 (7). P. 1516–1523. DOI: 10.1177/21925682221098667.