



ФАКТОРЫ РИСКА РАЗВИТИЯ ПРОКСИМАЛЬНЫХ ПЕРЕХОДНЫХ КИФОЗОВ ПОСЛЕ ХИРУРГИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ ДЕФОРМАЦИЙ ПОЗВОНОЧНИКА НА ПОЧВЕ БОЛЕЗНИ ШЕЙЕРМАННА

А.Ю. Сергунин, М.В. Михайловский

*Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии
им. Я.Л. Цивьяна, Новосибирск, Россия*

Цель исследования. Определение факторов риска развития проксимальных переходных кифозов (Proximal Junctional Kyphosis – PJK) у пациентов с кифозом Шейерманна, оперированных с применением сегментарного инструментария.

Материал и методы. Группу исследования составили 43 пациента (13 женского пола, 30 мужского пола), средний возраст – 17 лет, средний срок послеоперационного наблюдения – 6 лет. Провели анализ спондилограмм, выполненных в положении пациента стоя до операции, через неделю после операции и в конце периода наблюдения. Исследовали рентгенологические параметры: шейный лордоз, угол абсолютной ротации, угол входа в грудную клетку, наклон тела Th₁ позвонка, наклон шеи, наклон черепа, грудной кифоз, грудопоясничный кифоз, поясничный лордоз, позвоночно-тазовые параметры (Pelvic Incidence, Pelvic Tilt, Sacral Slope), сагиттальную вертикальную ось, проксимальный переходный угол (PJA), протяженность зоны дорсального спондилодеза.

Результаты. Среднее значение PJA до операции – 7° [3°; 8°], сразу после операции – 10° [8°; 13°], к концу периода наблюдения – 25° [19°; 32°]. Частота развития PJK к концу периода наблюдения составила 79,1 % (у 34 из 43 пациентов). Исходная величина грудного кифоза – 77° [72°; 86°], после операции – 41° [31°; 46°], при последнем осмотре – 43° [35°; 53°]. Наклон тела Th₁ позвонка в сагиттальной плоскости до операции – 39° [30°; 45°], на этапах наблюдения – 33° [22°; 37°] и 39° [27°; 45°]. Выявили отдельные значимые предикторы. Увеличение наклона тела Th₁ позвонка ($p = 0,005$) на k^0 ассоциировано с повышением риска PJK в 1,19к [1,08к; 1,37к] раза, грудного кифоза на k^0 ($p = 0,023$) – в 1,12к (1,03к; 1,27к). Формула, позволяющая прогнозировать вероятность развития этого осложнения на дооперационном этапе: $P(PJK) = 1 - 1/(1 + \exp(-23,14 + 0,26 \times Th_1 + 0,21 \times TK))$, где $P(PJK)$ – вероятность проксимального переходного кифоза, $\exp(z)$ – функция экспоненты в степени z , Th_1 (наклон тела Th₁) и TK (грудной кифоз) – дооперационные значения переменных. С помощью ROC-анализа определили пороговое значение для предсказания PJK – 74,2 %, то есть у пациентов с рассчитанной по формуле модели с вероятностью PJK больше порогового значения прогнозировали развитие PJK. Проверку предсказательной способности многофакторной модели провели на основании имеющихся исходных данных с известным окончательным результатом. В 41 случае из 43 прогноз оказался верен.

Заключение. Методом многофакторной логистической регрессии определены 2 взаимонезависимых мультипликативных показателя – наклон тела Th₁ позвонка и грудной кифоз для прогнозирования PJK с высокой точностью (чувствительность – 94,1 %, специфичность – 100,0 %).

Ключевые слова: болезнь Шейерманна, проксимальный переходный кифоз, хирургическое лечение, факторы риска, PJK.

Для цитирования: Сергунин А.Ю., Михайловский М.В. Факторы риска развития проксимальных переходных кифозов после хирургической коррекции деформаций позвоночника на почве болезни Шейерманна // Хирургия позвоночника. 2023. Т. 20. № 3. С. 6–15.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2023.3.6-15>.

RISK FACTORS OF PROXIMAL JUNCTIONAL KYPHOSIS AFTER SURGICAL CORRECTION OF SPINAL DEFORMITIES CAUSED BY SCHEUERMANN'S DISEASE

A.Yu. Sergunin, M.V. Mikhaylovskiy

Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsivyan, Novosibirsk, Russia

Objective. To identify risk factors for the development of Proximal Junctional Kyphosis (PJK) in patients with Scheuermann's kyphosis operated on using segmental instrumentation.

Material and Methods. The study group consisted of 43 patients (13 females, 30 males), mean age was 17 years, and mean postoperative follow-up was 6 years. Spondylograms with a patient in a standing position performed before surgery, a week after surgery, and at the end of the follow-up period were analyzed. Radiological parameters were studied: cervical lordosis, absolute rotation angle, thoracic entry angle, T1 vertebral body tilt, neck tilt, skull tilt, thoracic kyphosis, thoracolumbar kyphosis, lumbar lordosis, vertebral and pelvic parameters (Pelvic Incidence, Pelvic Tilt, Sacral Slope), sagittal vertical axis, proximal junctional angle (PJA), and length of the posterior spinal fusion.

Results. The mean PJA before surgery was 7° [3° ; 8°], immediately after surgery — 10° [8° ; 13°], by the end of the follow-up period — 25° [19° ; 32°]. The incidence of PJK by the end of the follow-up period was 79.1 % (in 34 out of 43 patients). The initial value of thoracic kyphosis was 77° [72° ; 86°], after surgery — 41° [31° ; 46°], at the last examination — 43° [35° ; 53°]. The inclination of the T1 vertebral body in the sagittal plane before surgery was 39° [30° ; 45°], at the stages of follow-up — 33° [22° ; 37°] and 39° [27° ; 45°]. Some significant predictors were identified. An increase in the inclination of the T1 vertebral body ($p = 0.005$) by k° is associated with an increase in the risk of PJK by 1.19k [1.08k; 1.37k] times, and an increase of thoracic kyphosis by k° ($p = 0.023$) — by 1.12k (1.03k; 1.27k) times. The formula for preoperative predicting the likelihood of this complication is: $P(PJK) = 1 - 1/(1 + \exp(-23.14 + 0.26 \times T1 + 0.21 \times TK))$, where $P(PJK)$ is the probability of proximal junctional kyphosis; $\exp(z)$ is the exponential function to the power of z ; T1 (T1 vertebral body tilt) and TK (thoracic kyphosis) are preoperative values of variables. Using ROC analysis, the threshold value for predicting PJK was determined to be 74.2 %, that is, the development of PJK was predicted in patients with a PJK probability greater than the threshold value calculated by the model formula. The predictive ability of the multivariate model was tested on the basis of the available initial data with a known final result. The prediction was correct in 41 cases out of 43.

Conclusion. Using the multivariate logistic regression method, two mutually independent multiplicative indicators were determined for predicting PJK with high accuracy (sensitivity 94.1 %, specificity 100.0 %) — inclination of the T1 vertebral body and thoracic kyphosis.

Key Words: Scheuermann's disease, proximal junctional kyphosis, surgical treatment, risk factors, PJK.

Please cite this paper as: Sergunin AYU, Mikhaylovskiy MV. Risk factors of proximal junctional kyphosis after surgical correction of spinal deformities caused by Scheuermann's disease. *Khirurgia Pozvonochnika (Russian Journal of Spine Surgery)*. 2023;20(3):6–15. In Russian.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2023.3.6-15>.

Результат хирургической коррекции деформации позвоночника при болезни Шейерманна оценивается не только по степени уменьшения грудного кифоза, но и по изменению параметров фронтального и сагиттального балансов туловища, по оценке состояния сегментов позвоночника, не включенных в зону металлоспондилодеза, по удовлетворенности пациента достигнутым эффектом (Health Related Quality of Life) и по ряду других. Одна из актуальных проблем, которая может быть выявлена на этапах послеоперационного наблюдения, — это так называемый проксимальный переходный кифоз (Proximal Junctional Kyphosis — PJK). Формирование PJK определяется как увеличение угла кифоза между нижней замыкательной пластиной верхнего инструментированного позвонка (UIV — upper instrumented vertebra) и верхней замыкательной пластиной, расположенного на два сегмента краниальнее верхнего инструментированного позвонка, больше чем на 10° по сравнению с дооперационным углом на этом же уровне [1]. Одной из причин его развития считается неверный выбор границ инструментального блока, поэтому на сегодняшний день по-прежнему актуален вопрос выбора границ заднего спондилодеза, позволяющего получить оптимальную коррекцию

деформации позвоночника, сохранив при этом по возможности максимальное количество нефиксированных сегментов, при котором качество жизни пациента не будет снижено. Причинами развития PJK рассматривают и другие факторы риска. По данным литературы [2, 3], к ним можно отнести значительную исходную величину грудного кифоза, гиперкоррекцию или же, наоборот, недостаточную коррекцию кифоза, повреждение связочного аппарата задней опорной колонны над верхним инструментированным позвонком, снижение плотности костной ткани, установку на уровне верхнего инструментированного позвонка транспедикулярных винтов и др. В то же время в литературе не удалось обнаружить данных, касающихся таких возможных факторов риска развития PJK, как пол пациента, показатели сагиттального контура шейного отдела позвоночника, угол наклона тела Th₁ позвонка и ряда других, что затрудняет предоперационное планирование и может существенно снизить лечебный эффект, особенно в отдаленном послеоперационном периоде (развитие Proximal Junctional Failure — PJF, требующее обычно продолжения зоны инструментального спондилодеза до нижнешейного отдела позвоночника).

Цель исследования — определение факторов риска развития проксимальных переходных кифозов у пациентов с кифозом Шейерманна, оперированных с применением сегментарного инструментария.

Дизайн: ретроспективное одноцентровое когортное исследование.

Материал и методы

Пациенты

Провели анализ рентгенограмм 43 пациентов с болезнью Шейерманна, оперированных с применением дорсального сегментарного инструментария в 1997–2017 гг. Пациентов женского пола было 13, мужского — 30. Средний возраст больных на момент операции — 17 [15; 0; 25,5] лет, средний срок послеоперационного наблюдения — 6 [5,4; 20,0] лет. Критерии включения в исследование: диагноз «болезнь Шейерманна», полный набор качественных рентгенограмм, позволяющих достоверно оценить фронтальные и сагиттальные параметры позвоночника, период наблюдения более пяти лет с момента операции, отсутствие неврологических и гнойных осложнений. Оценивали спондилограммы стоя в двух проекциях от C₂ до таза с захватом головок бедренных костей до операции, через неделю после операции и в конце периода наблюдения.

Методики

Опираясь на данные литературы [4], в качестве возможных факторов риска выбрали следующие параметры: шейный лордоз (Cervical Lordosis – CL), угол абсолютной ротации (Absolute Rotation Angle – ARA), угол входа в грудную клетку (Thoracic Inlet Angle – TIA), наклон тела Th₁ позвонка в сагиттальной плоскости (Th₁ slope), наклон шеи (Neck Tilt – NT), наклон головы (Cranial Tilt – CRT), грудной кифоз (Thoracic Kyphosis – ТК), переходный грудопоясничный кифоз (Thoraco-Lumbar Kyphosis – TLK), поясничный лордоз (Lumbar Lordosis – LL), PI (Pelvic Incidence), PT (Pelvic Tilt), SS (Sacral Slope), сагиттальную вертикальную ось (Sagittal Vertical Axis, SVA), проксимальный переходный угол (Proximal Junctional Angle – PJA).

Также оценивали возраст пациента на момент операции, пол, протяженность заднего спондилодеза, уровень UIV, уровень вершины грудного кифоза. Коррекцию деформации позвоночника проводили стандартно с помощью дорсального сегментарного инструментария и многоуровне-

вой транспедикулярной фиксации. Все больные ответили на вопросы опросника SRS-24 на этапах исследования.

Статистический анализ

Статистическое исследование полученных данных проводили при уровне значимости 0,05, то есть числовая связь считалась значимой при $p < 0,05$. Качество моделей оценивали методами ROC-анализа. Все статистические расчеты выполняли в программе RStudio (версия 1.3.959-2009-2020) на языке R.

Результаты

Коррекция кифотической деформации после операции составила в среднем 49,3 %, к концу периода наблюдения отмечена некоторая потеря коррекции исправленной деформации – до 42,8 % от исходной (табл. 1). В первую очередь, это обусловлено особенностью измерения параметров грудного кифоза, так как верхний концевой позвонок чаще всего выбирался на уровне Th₃. При этом верхняя граница инструментального спондилодеза в 39,5 % случаев приходилась на Th₄, и при увеличении проксималь-

ного переходного угла общие показатели грудного кифоза закономерно увеличивались. При измерении параметров грудного кифоза строго в границах инструментального спондилодеза значимой потери коррекции отмечено не было. В послеоперационном периоде уменьшение величины поясничного лордоза составило в среднем 32,9 %, в течение периода наблюдения параметры лордоза оставались в пределах нормы. Переходный грудопоясничный кифоз также уменьшался после операции на 45,8 % и сохранялся без изменений в течение всего периода наблюдения. Отсутствие динамики можно объяснить локализацией переходного грудопоясничного кифоза в границах инструментального спондилодеза. Уменьшение наклона тела Th₁ позвонка после операции составило 16,6 %, к моменту последнего контрольного осмотра вернулось к исходным значениям. Из всех рассмотренных сагиттальных параметров грудного и поясничного отделов позвоночника больше всего менялся проксимальный переходный угол. После операции он увеличил-

Таблица 1

Динамика сагиттальных параметров грудного и поясничного отделов позвоночника

Параметры	До операции*	После операции*	В конце наблюдения*	Различия (%)*	Критерий Вилконсона, р-уровень
Грудной кифоз, град.	77 [72,0; 86,0]	41 [31,0; 46,0]	43 [35,0; 53,0]	TK1-TK2: 38,0 [37,5; 38,0] (49,3) TK1-TK3: 33,0 [32,0; 33,0] (42,8) TK2-TK3: -3,5 [-4,0; -3,0] (7,3)	TK1-TK2: <0,001** TK1-TK3: <0,001** TK2-TK3: 0,004**
Поясничный лордоз, град.	76 [67,0; 85,0]	50 [42,0; 6,5]	55 [47,5; 62,0]	LL1-LL2: 25,0 [25,0; 25,5] (32,9) LL1-LL3: 19,5 [19,0; 20,0] (25,6) LL2-LL3: -5,0 [-5,5; -4,5] (10,0)	LL1-LL2: <0,001** LL1-LL3: <0,001** LL2-LL3: 0,001**
Переходный грудной поясничный кифоз, град.	12 [5,0; 20,0]	7 [4,0; 10,5]	7 [3,0; 12,5]	TLK1-TLK2: 5,5 [5,0; 6,0] (45,8) TLK1-TLK3: 5,5 [5,0; 6,0] (45,8) TLK2-TLK3: 0,0 [0,5; 0,0] (0,0)	TLK1-TLK2: 0,002** TLK1-TLK3: 0,012** TLK2-TLK3: 0,838
Наклон Th ₁ , град.	39 [30,5; 45,0]	33 [22,5; 37,5]	39 [27,5; 45,0]	Th1(1)-Th1(2): 6,5 [6,0; 7,0] (16,6) Th1(1)-Th1(3): 0,0 [-0,5; 1,0] (0,0) Th1(2)-Th1(3): -6,0 [-6,5; -6,0] (18,1)	Th1(1)-Th1(2): 0,002** Th1(1)-Th1(3): 0,952 Th1(2)-Th1(3): <0,001**
Проксимальный переходный угол, град.	7 [3,5; 8,0]	10 [8,0; 13,5]	25 [19,0; 32,0]	PJA1-PJA2: -4,5 [-5,0; -4,0] (57,4) PJA1-PJA3: -18,5 [-19,0; -18,0] (264,2) PJA2-PJA3: -13,5 [-14,0; -13,5] (135,0)	PJA1-PJA2: <0,001** PJA1-PJA3: <0,001** PJA2-PJA3: <0,001**

* Медиана — среднее значение ненормально распределенных показателей;

** значения достоверны при $p < 0,05$.

ся на 57,4 %, а в конце наблюдения – на 264,2 % в сравнении с исходным углом. PJK к концу периода наблюдения сформировался у 79,1 % (34 из 43) пациентов.

Параметры шейного лордоза и угол входа в грудную клетку в общей когорте на этапах наблюдения значительно не менялись (табл. 2). Угол абсолютной ротации и наклон головы несколько уменьшались сразу после операции, в конце наблюдения становились больше, чем до начала лечения. Увеличение угла наклона шеи продолжалось на всех этапах послеоперационного наблюдения.

Что касается пояснично-тазовых параметров, то Pelvic Incidence и Sacral Slope в раннем послеоперационном периоде демонстрировали незначительное уменьшение значений, которые в конце наблюдения возвращались к исходным уровням. Pelvic Tilt сразу после операции увеличился практически в 2 раза, но в конце периода наблюдения также возвращался к первоначальным цифрам (табл. 3).

С целью выявления статистически значимой зависимости выполнили построение модели логистической

регрессии проксимального переходного кифоза к рассматриваемым параметрам (табл. 4).

Путем построения однофакторных моделей прогнозирования вероятности развития проксимального переходного кифоза (логистических регрессий) выявлены отдельные значимые предикторы. Женский пол ($p = 0,002$) – предиктор ассоциирован с понижением шансов развития PJK в 0,06 [0,01; 0,32] раза; мужской пол ($p = 0,002$) – предиктор ассоциирован с повышением шансов развития PJK в 16,3 [3,10; 130,57] раза. Увеличение наклона тела Th₁ позвонка ($p = 0,005$) на к° ассоциировано с повышением риска развития PJK в 1,19к [1,08к; 1,37к] раза, грудного кифоза на к° ($p = 0,023$) – в 1,12к (1,03к; 1,27к), входа в грудную клетку на к° ($p = 0,008$) – в 1,12к [1,04к; 1,23к] раза, угла абсолютной ротации на к° ($p = 0,027$) – в 1,12к [1,03к; 1,26к] раза, шейного лордоза на к° ($p = 0,035$) – в 1,28к [1,08к; 1,72к]. Путем построения многофакторной модели прогнозирования вероятности развития проксимального переходного кифоза (логистических регрессий) выявлены

следующие зависимости: увеличение дооперационного наклона тела Th₁ позвонка ($p = 0,013$) на к° ассоциировано с повышением шансов развития PJK в 1,3к (1,11к; 1,71к), увеличение дооперационного грудного кифоза ($p = 0,033$) на к° ассоциировано с повышением шансов развития PJK в 1,24к (1,07к; 1,61к).

Формула многофакторной модели логистической регрессии PJK, позволяющая прогнозировать вероятность развития этого осложнения на дооперационном этапе, имеет следующий вид:

$$P(PJK) = 1 - 1 / (1 + \exp(-23,14 + 0,26 \times Th_1 + 0,21 \times TK)),$$

где P(PJK) – вероятность развития проксимального переходного кифоза, $\exp(z)$ – функция экспоненты в степени z , Th₁ (наклон тела Th₁) и TK (грудной кифоз) – дооперационные значения переменных.

С помощью ROC-анализа, позволяющего оценить наилучшую прогностическую точность модели, определили пороговое значение для предсказания PJK – 74,2 %. Это означает, что у пациентов с рассчитанной по формуле модели вероятно-

Таблица 2

Динамика сагиттальных параметров в шейном отделе позвоночника

Параметры	До операции*	После операции*	В конце наблюдения*	Различие*	Критерий Вилкоксона, р-уровень
Шейный лордоз, град.	11 [6,0; 28,5]	12 [3,0; 23,5]	13 [9,0; 29,5]	CL1-CL2: 3,0 [2,5; 3,5] CL1-CL3: -2,0 [-3,0; -1,5] CL2-CL3: -6,0 [-6,5; -5,5]	CL1-CL2: 0,224 CL1-CL3: 0,472 CL2-CL3: 0,011**
Угол абсолютной ротации, град.	18 [7,0; 32,5]	15 [6,0; 24,5]	24 [11,0; 34,0]	ARA1-ARA2: 4,0 [3,5; 4,5] ARA1-ARA3: -4,5 [-5,0; -4,0] ARA2-ARA3: -9,0 [-10,0; -8,0]	ARA1-ARA2: 0,090 ARA1-ARA3: 0,093 ARA2-ARA3: 0,001**
Угол входа в грудную клетку, град.	77 [74,0; 83,5]	79 [73,0; 86,0]	78 [71,0; 84,0]	TIA1-TIA2: -1,0 [-1,5; -1,0] TIA1-TIA3: 0,0 [0,0; 0,5] TIA2-TIA3: 0,5 [0,0; 1,0]	TIA1-TIA2: 0,374 TIA1-TIA3: 0,950 TIA2-TIA3: 0,751
Наклон шеи, град.	45 [39,0; 49,5]	49 [43,5; 57,5]	52 [43,0; 54,5]	NT1-NT2: -5,0 [-5,5; -4,5] NT1-NT3: -5,0 [-5,0; -4,5] NT2-NT3: 1,0 [0,5; 1,5]	NT1-NT2: 0,001** NT1-NT3: 0,001** NT2-NT3: 0,331
Наклон головы, град.	35 [29,0; 38,5]	33 [28,0; 38,5]	36 [31,0; 40,0]	CRT1-CRT2: 0,5 [0,5; 1,0] CRT1-CRT3: -2,5 [-2,5; -2,0] CRT2-CRT3: -3,0 [-3,5; -3,0]	CRT1-CRT2: 0,564 CRT1-CRT3: 0,075 CRT2-CRT3: 0,011**

* Медиана — среднее значение ненормально распределенных показателей;

** значения достоверны при $p < 0,05$.

Таблица 3

Динамика сагиттальных тазовых параметров

Параметры	До операции*	После операции*	В конце наблюдения*	Различие*	Критерий Вилконсона, р-уровень
Pelvic Incidence, град.	48 [40,5; 56,0]	46 [41,0; 58,5]	46 [43,0; 54,5]	PI1-PI2: -1,5 [-2,0; -1,0] PI1-PI3: 0,0 [-0,5; 0,5] PI2-PI3: 2,5 [2,0; 3,0]	PI1-PI2: 0,323 PI1-PI3: 0,995 PI2-PI3: 0,122
Pelvic Tilt, град.	7 [3,5; 10,5]	12 [5,5; 17,5]	7 [4,0; 12,0]	PT1-PT2: -4,5 [-5,0; -4,5] PT1-PT3: -0,5 [-1,0; -0,5] PT2-PT3: 3,5 [3,5; 4,0]	PT1-PT2: <0,001** PT1-PT3: 0,429 PT2-PT3: 0,001**
Sacral Slope, град.	40 [35,5; 46,0]	34 [29,5; 41,5]	40 [35,0; 48,5]	SS1-SS2: 5,0 [4,5; 5,0] SS1-SS3: 1,0 [0,5; 1,5] SS2-SS3: -4,5 [-4,5; -4,0]	SS1-SS2: <0,001** SS1-SS3: 0,541 SS2-SS3: 0,005**

* Медиана — среднее значение ненормально распределенных показателей;

** значения достоверны при $p < 0,05$.

Таблица 4

Модели логистической регрессии проксимального переходного кифоза у всех пациентов

Коварианты	Однофакторные модели		Многофакторные модели	
	ОШ [95 % ДИ]	p	ОШ [95 % ДИ]	p
Женский пол	0,06 [0,01; 0,32]	0,002*	0,06 [0,01; 0,32]	0,002*
Мужской пол	16,33 [3,10; 130,57]	0,002*		
Th ₁ L ₁	1,19 [1,08; 1,37]	0,005*	1,30 [1,11; 1,71]	0,013*
TIA ₁	1,12 [1,04; 1,23]	0,008*		
TK ₁	1,12 [1,03; 1,27]	0,023*	1,24 [1,07; 1,61]	0,033*
ARA ₁	1,12 [1,03; 1,26]	0,027*		
CL ₁	1,28 [1,08; 1,72]	0,035*		
Инструментальный спондилодез Th ₄ —L ₂	0,13 [0,01; 0,90]	0,041*		
CRT ₁	1,10 [1,01; 1,22]	0,050		
Инструментальный спондилодез Th ₃ —L ₂	4,95 [0,78; 97,40]	0,152		
SVA ₁	0,97 [0,93; 1,01]	0,156		
PIA ₁	1,18 [0,97; 1,53]	0,163		
Инструментальный спондилодез Th ₄ —L ₃	0,38 [0,08; 1,87]	0,222		
PI ₁	1,04 [0,98; 1,12]	0,232		
PT ₁	0,92 [0,79; 1,07]	0,268		
Возраст	0,95 [0,85; 1,06]	0,317		
LL ₁	0,98 [0,92; 1,03]	0,436		
TLK ₁	0,98 [0,91; 1,04]	0,460		
Инструментальный спондилодез Th ₃ —L ₃	2,07 [0,30; 41,77]	0,523		
SS ₁	1,01 [0,94; 1,11]	0,751		
NT ₁	1,00 [0,91; 1,10]	0,980		

* Значения достоверны при $p < 0,05$.

стью РЖК больше порогового значения, прогнозировали развитие РЖК. В группе исследования представленный способ прогнозирования показал 94,1 % чувствительности и 100,0 % специфичности, что является высо-

ким показателем качества прогноза (рис. 1). Проверку предсказательной способности полученной многофакторной модели провели на основании имеющихся исходных данных с известным окончательным резуль-

татом (табл. 5). В 41 случае из 43 прогноз оказался верен.

Клинический пример 1. Пациента Д., 14 лет, с болезнью Шейерманна (III стадия, болевая форма), гиперкифозом грудного отдела позвоночника (77°)

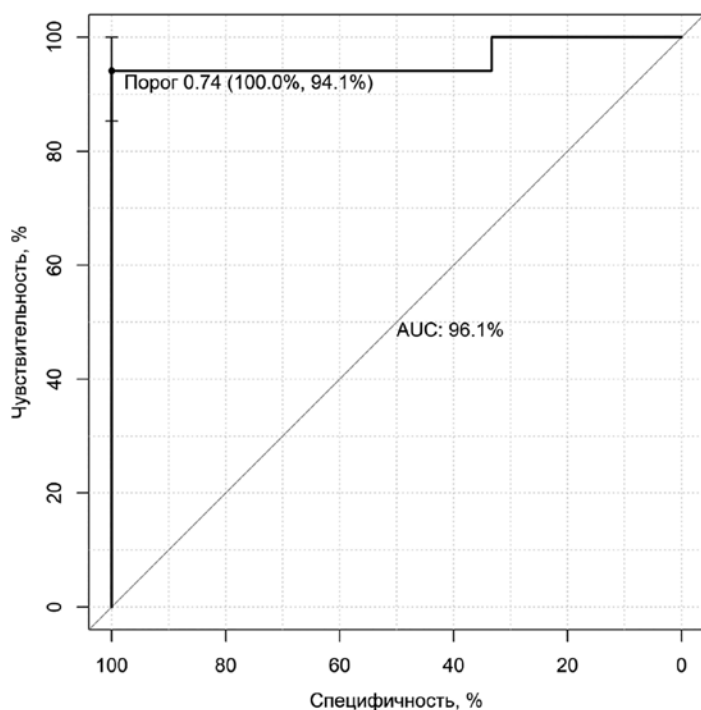


Рис. 1

ROC-кривая многофакторной оптимальной модели проксимального переходного кифоза

Таблица 5

Сопряженность многофакторной оптимальной модели проксимального переходного кифоза у всех пациентов для порогового значения 74,2 %

Параметры	Исход РЖК+	Исход РЖК-	Всего
Прогноз РЖК+	32	0	32
Прогноз РЖК-	2	9	11
Всего	34	9	43

оперировали с применением гибридного сегментарного инструментария.

Исходная величина грудного кифоза (от 08.02.2016 г.) составила 77°, наклон тела Th₁ позвонка в сагиттальной плоскости – 43°, величина проксимального переходного угла – 6° (рис. 2а). Через 8 дней после операции (16.06.2016 г.) грудной кифоз составил 20°, наклон Th₁ позвонка – 22°, проксимальный переходный угол –

9° (рис. 2б). В конце периода наблюдения (10.07.2021 г.) величина грудного кифоза – 19°, наклон тела Th₁ – 39°, констатировано формирование проксимального переходного кифоза 56° (рис. 2в). На основе полученных данных провели проверку формулы многофакторной модели логистической регрессии РЖК.

$$P(\text{РЖК}) = 1 - 1/(1 + \exp(-23,14 + 0,26 \times \text{Th}_1 + 0,21 \times \text{ТК}));$$

$$P = 1 - 1/(1 + \exp(-23,14 + 0,26 \times 43 + 0,21 \times 77)) = 0,98;$$

$$P = 0,98 \times 100 = 98.$$

Величина P (98) > 74,2 (пороговое значение), следовательно в данном случае имелся высокий риск развития РЖК.

Клинический пример 2. Пациентка Т. с болезнью Шейерманна (III стадия, болевая форма), гиперкифозом грудного отдела позвоночника (50°).

Оперировали с применением гибридного дорсального инструментария. Исходная величина грудного кифоза (от 28.01.2016 г.) составила 50°, наклон Th₁ позвонка в сагиттальной плоскости – 32°, величина проксимального переходного угла – 4°. Через 7 дней после операции (05.02.2016 г.) грудной кифоз составил 18°, наклон Th₁ позвонка – 13°, проксимальный переходный угол – 13°. В конце периода наблюдения (26.02.2018 г.) величина грудного кифоза – 34°, наклон Th₁ – 24°, проксимальный переходный угол – 14°. На основе полученных данных проверили формулу многофакторной модели логистической регрессии РЖК.

$$P(\text{РЖК}) = 1 - 1/(1 + \exp(-23,14 + 0,26 \times \text{Th}_1 + 0,21 \times \text{ТК}));$$

$$P = 1 - 1/(1 + \exp(-23,14 + 0,26 \times 32 + 0,21 \times 50)) = 0,013;$$

$$P = 0,013 \times 100 = 1,31$$

Величина P (1,31) < 74,2 (пороговое значение), следовательно в данном случае имелся низкий риск развития РЖК.

Анализ результатов анкетирования пациентов по SRS-24 показал, что оценка результатов хирургического вмешательства увеличивается между ближайшим и отдаленным послеоперационными периодами по всем параметрам, хотя статистически достоверные изменения можно отнести к оценке болевого синдрома, функции после операции, общей и профессиональной активности (табл. 6).

Обсуждение

Частота формирования проксимальных переходных кифозов после коррекции деформаций позвоночника

**Рис. 2**

Рентгенограммы пациента Д., 14 лет, с болезнью Шейерманна: **а** – до операции; **б** – через 8 дней после операции; **в** – в конце периода наблюдения

на почве болезни Шейерманна вариабельна [5, 6], а причины развития этого осложнения, несмотря на многочисленные теории и предложения, остаются малопонятными. Обсуждение современного положения, сложившегося в этой довольно узкой области хирургической вертебрологии, полагаем правильно построить на результатах исследований со значительными (более пяти лет) сроками послеоперационного наблюдения. Самая ранняя

из подобных публикаций [7] содержит информацию о 63 больных, наблюдавшихся в среднем 14 лет (от 10 до 28) после коррекции контрактурами Harrington. Исходная величина грудного кифоза – 73°, в конце периода наблюдения – 59° (потеря коррекции – 20°). Пациенты достаточно высоко оценивают достигнутый результат, данных по формированию РЖК авторы не приводят. В 2009 г. Denis et al. [8] представили результа-

ты коррекции кифозов Шейерманна у 67 больных с минимальными сроками послеоперационного наблюдения пять лет (в среднем 73 мес.). Деформацию удалось в значительной степени исправить (с 78° до 45°) и практически полностью сохранить достигнутый эффект: всего 4° потери коррекции в конце периода наблюдения. Развитие РЖК отмечено у 20 (30 %) пациентов. Основными причинами развития переходной деформации авторы считали не включение в блок проксимального концевой позвонка грудного кифоза и повреждение желтой связки ламинарным проксимальным крюком или субламинарной проволокой. Исходная величина кифоза и степень достигнутой коррекции роли не играют. Graat et al. [9] сообщили о результатах оперативного лечения 29 больных, наблюдавшихся в среднем 18 лет (14–21) после оперативного лечения. Исходная величина деформации – 82°, в конце периода наблюдения – 69°, то есть окончательный корригирующий эффект был минимальным. Количество диагностированных РЖК росло по мере увеличения сроков послеоперационного наблюдения – 9 (31 %) в течение первого года, 12 (43 %) – в течение восьми лет, 15 (53 %) – в конце периода наблюдения. Важность включения верхнего концевой позвонка в зону блока авторы не подтвердили. Результаты анкетирования пациентов показали, что 72 % из них удовлетворены исходом лече-

Таблица 6

Результаты изучения качества жизни с помощью анкеты SRS-24, баллы

Параметры	Ранний послеоперационный период	Поздний послеоперационный период	p-value
Боль	3,71 ± 0,53	3,79 ± 0,49	0,009
Общий внешний вид	3,94 ± 0,56	4,10 ± 0,57	0,072
Внешний вид после операции	4,40 ± 0,47	4,44 ± 0,41	0,062
Функция после операции	2,01 ± 1,15	2,34 ± 1,41	0,030
Общая активность	3,07 ± 0,73	3,24 ± 0,81	0,041
Профессиональная активность	3,47 ± 0,73	3,52 ± 0,71	0,036
Удовлетворенность результатом операции	4,43 ± 0,52	4,47 ± 0,54	0,057
Согласие на оперативное лечение на тех же условиях	82 %	86 %	—
Общий итог	88,3	91,2	0,058

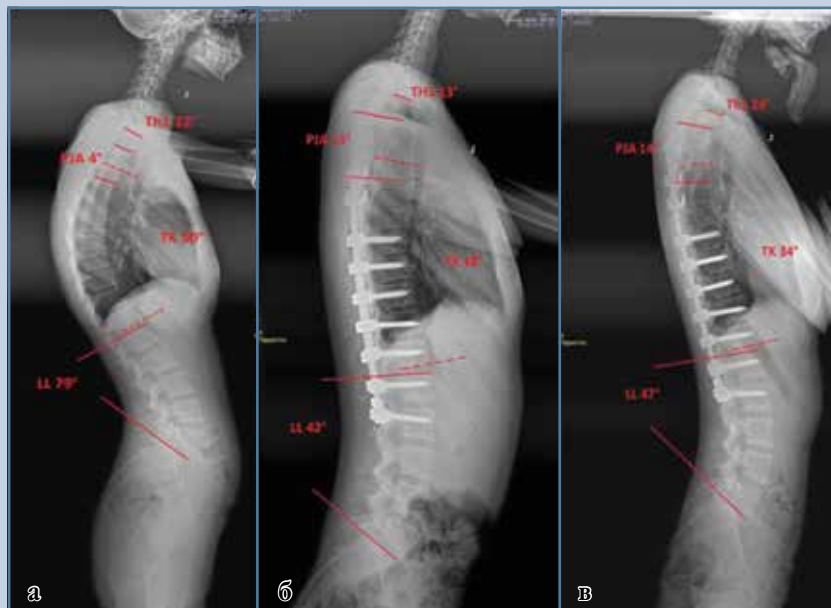


Рис. 3

Рентгенограммы пациентки Т. с болезнью Шейерманна: **а** – до операции; **б** – через 7 дней после операции; **в** – в конце периода наблюдения

ния и готовы были бы подвергнуться ему снова. Авторы подчеркивают сочетание неудовлетворительных рентгенографических результатов операции с данными клинических исследований. Последние свидетельствуют о высокой жизненной активности пациентов, несмотря на высокую частоту развития болевого синдрома. Hwang et al. [10] оперировали 43 больных с кифотическими деформациями, среди которых 15 – кифозы Шейерманна. Средний срок наблюдения – 5,8 (5,0–9,7) года. Исходная величина деформации – 91°, сразу после операции – 48,1°, потеря коррекции – всего 1,8°. Проксимальный переходный кифоз констатирован у 2 больных из 15, данные анкетирования показали существенное улучшение качества жизни по всем доменам. М.В. Михайловский с соавт. [11] в 2022 г. представили результаты хирургической коррекции 43 больных со средними сроками послеоперационного наблюдения 6,9 (5–20) года. Исходная величина грудного кифоза составила 80,6°, сразу после операции – 41,4°, в конце

периода наблюдения – 47,9°. Проксимальные переходные кифозы выявлены у 21 (48,8 %) больного, причем включение верхнего концевого позвонка кифоза в зону спондилодеза снижает процент развития РЖК лишь с 60 до 45 %. Степень коррекции кифоза (более или менее чем на 50 %) практически не сказывается на частоте развития РЖК. По данным анкетирования, оценка результатов хирургического лечения растет по всем доменам между ближайшим и отдаленным сроками после вмешательства – с 88,4 до 91,4 балла, при этом количество пациентов, давших бы согласие на операцию в тех же условиях, выросло с 82 до 86 %. В 2022 г. Debnath et al. [12] сообщили о результатах оперативного лечения 51 пациента с кифозом Шейерманна. Средний срок наблюдения – 14 (10–16) лет. Грудной кифоз удалось уменьшить с 84,4° до 44,0°, потеря коррекции – 1,5°. Основной вопрос, на который авторы старались найти ответ: есть ли преимущество у двухэтапного (дорсовентрального) вмешательства перед одноэтапным.

Такого преимущества не выявили. Проксимальный переходный кифоз выявлен в 7 (13,7 %) случаях, причем только в двух он не сопровождался болевым синдромом. В остальных пяти случаях пациенты были подвергнуты реоперациям. Факторами риска развития РЖК авторы считают вентродорсальное вмешательство, включение в зону инструментального спондилодеза Th₁–Th₃ позвонков, нарушение целостности задних опорных структур позвоночника и избыточную дистракцию параспинальной мускулатуры в ходе оперативного доступа.

Один из ведущих вертебрологов мира Dubousset выделяет две группы причин развития РЖК – механические и биологические. К механическим относятся деструкция дорсальных мягкотканых структур, слабость дорсального инструментария «на вырывание», снижение сопротивляемости костной ткани тел позвонков компрессионным нагрузкам по причине остеопороза, нестабильность UIV, сглаживание грудного кифоза, сглаживание либо усиление поясничного лордоза. К биологическим причинам относятся нарастающее с возрастом снижение мышечной силы, неврологические нарушения как следствие нейромышечной патологии, костная метаболическая патология [13].

Отсутствие единого мнения о причинах развития РЖК на фоне множества более или менее убедительных предположений может свидетельствовать в пользу полиэтиологичности этого состояния. Мы предприняли попытку приблизиться к решению проблемы путем исследования сагиттального статуса позвоночного столба на всем его протяжении с включением головы и таза, которые Dubousset [13] определяет как краниальный и тазовый позвонки. Мы использовали 14 параметров, характеризующих сагиттальный контур позвоночного столба от C-0 до S-1 и дополнили этот список (пол больного, протяженность зоны инструментального спондилодеза, уровень вершины деформации). Насколько можно судить по данным литературы, такой подход при исследовании

довании причин развития РЖК ранее никак не применялся.

В исследованной нами группе больных с большими сроками послеоперационного наблюдения частота формирования проксимального переходного кифоза составила 79,1 %, при этом в большинстве случаев течение было бессимптомным и не потребовало повторной операции. Исходная величина проксимального переходного угла продемонстрировала отсутствие корреляции с РЖА после операции, а также с величиной угла в конце наблюдения. По нашим данным, такой предиктор как женский пол ассоциирован с понижением шансов развития РЖК в 0,06 раза. При этом у мужчин, наоборот, шансы к развитию РЖК значительно выше – в 16,3 ($p = 0,002$) раза. Протяженность границ дорсального спондилодеза в пределах Th_4-L_2 позвонков имела самую слабую связь с развитием РЖК ($p = 0,041$). Протяженность границ дорсального спондилодеза в других рассмотренных вариантах, а именно Th_3-L_2 , Th_4-L_3 , Th_3-L_3 не имела статистически достоверной корреляции с РЖК. Величина дооперационной кифотической деформации в грудном отделе ($p = 0,023$) ассоциирована с шансом развития РЖК: чем больше был кифоз в грудном отделе до операции, тем выше шансы развития РЖК к концу наблюдения. Степень коррекции грудного кифоза после операции приближалась к 50 % от исходной и не являлась фактором риска в развитии РЖК. Величина наклона тела Th_1 позвонка в сагиттальной

плоскости также отчетливо коррелировала с развитием РЖК ($p = 0,005$).

Угол входа в грудную клетку ($p = 0,008$), угол абсолютной ротации ($p = 0,027$), величина шейного лордоза ($p = 0,035$) также имели связь с развитием РЖК. Рассмотренные сагиттальные тазовые параметры, PI ($p = 0,232$), PT ($p = 0,268$), SS ($p = 0,751$) не были ассоциированы с развитием РЖК, как и во многих источниках литературы по данной проблеме. Согласно данным клинического обследования (опросник SRS-24), у наших пациентов отмечено улучшение по всем параметрам, согласие на операцию при тех же условиях выросло с 82 до 86 %. Эти данные согласуются с результатами, опубликованными Graat et al. [8], отметившими явное несоответствие между степенью удовлетворенности пациентов результатами лечения и рентгенологической картиной в отдаленном послеоперационном периоде (значительная потеря коррекции, высокий процент развития РЖК). Необходимы новые исследования, чтобы внести ясность в обсуждаемую многоаспектную проблему.

Ограничения исследования

Основным ограничением является сравнительно небольшая величина группы обследованных больных. Это объясняется необходимостью включения в исследование пациентов с максимально большими сроками послеоперационного наблюдения. С учетом того, что в клинике используется протокол, предусматривающий периодические послеопераци-

онные осмотры в течение трех лет, такая ситуация вполне объяснима. Использование предлагаемой формулы многофакторной модели в других клиниках и совокупная оценка этого материала могут подтвердить ее функциональность и тем самым существенно повысить качество предоперационного планирования у пациентов с тяжелыми кифозами на почве болезни Шейерманна.

Заключение

Методом многофакторной логистической регрессии определены два взаимонезависимых мультипликативных показателя – наклон тела Th_1 позвонка и исходная величина грудного кифоза (ТК) для прогнозирования РЖК с высокой точностью (чувствительность – 94,1 %, специфичность – 100,0 %). Использование этих параметров в многофакторной модели логистической регрессии РЖК позволяет прогнозировать вероятность развития этого осложнения на дооперационном этапе.

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. Yanic HS, Ketenci IE, Polat A, Ulusoy A, Deniz G, Kose O, Erdem S. Prevention of proximal junctional kyphosis after posterior surgery of Scheuermann kyphosis: an operative technique. J Spinal Disord Tech. 2015;28:E101–E105. DOI: 10.1097/BSD.0000000000000157.
2. Дюбуассе Ж.Ф. Сколиоз и гармония: сибирские лекции. Новосибирск, 2018. [Dubousset JF. Scoliosis and Harmony: Siberian Lectures. Novosibirsk, 2018].
3. Helgeson MD, Shah SA, Newton PO, Clements DH 3rd, Betz RR, Marks MC, Bastrom T. Evaluation of proximal junctional kyphosis in adolescent idiopathic scoliosis following pedicle screws, hooks or hybrid instrumentation. Spine. 2010;35:171–181. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181c77f8c.
4. Janusz P, Tyrakowski M, Kotwicki T, Siemionov K. Cervical sagittal alignment in Scheuermann disease. Spine. 2015;40:E1226–E1232. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001129.
5. Koptan WMT, Elmiligui YH, Elsebaie HB. All pedicle screw instrumentation for Scheuermann's kyphosis correction: is it worth it? Spine J. 2009;9:296–302. DOI: 10.1016/j.spinee.2008.05.011.
6. McDonnell JM, Ahern DP, Lui DF, Yu H, Lehotsky J, Noordeen H, Molloy S, Butler JS, Gibson A. Two-stage anterior and posterior fusion versus one-stage posterior fusion in patients with Scheuermann's kyphosis. Bone Joint J. 2020;102-B:1368–1374. DOI: 10.1302/0301-620X.102B10.BJJ-2020-0273.R3.

7. **Soo CL, Noble PC, Esses SI.** Scheuermann's kyphosis: long-term follow up. Spine J. 2002;2:49–56. DOI: 10.1016/s1529-9430(01)00168-1.
8. **Denis F, Sun EC, Winter RB.** Incidence and risk factors for proximal and distal junctional kyphosis following surgical treatment for Scheuermann kyphosis: minimum five-year follow-up. Spine. 2009;34:E729–E734. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181ae2ab2.
9. **Graat HCA, Schimmel JJP, Hoogendoorn RJW, van Hessem L, Hosman A, de Kleuver M.** Poor radiological and good functional long-term outcome of surgically treated Scheuermann patients. Spine. 2016;41:E869–E878. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001402.
10. **Hwang CJ, Lenke IG, Kelly MP, Sides BA, Blanke KM, Hershman S.** Minimum five-year follow-up of posterior-only pedicle screw constructs for thoracic and thoracolumbar kyphosis. Eur Spine J. 2019;28:2609–2618. DOI: 10.1007/s00586-019-06076-0.
11. **Михайловский М.В., Губина Е.В., Александрова Н.Л., Майрамбеков И.М., Сергунин А.Ю.** Отдаленные результаты хирургической коррекции кифозов Шейерманна // Хирургия позвоночника. 2022. Т. 19. № 4. С. 6–18. [Mikhaylovskiy MV, Gubina EV, Aleksandrova NL, Mairambekov IM, Sergunin AYU. Long-term results of surgical correction of Scheuermann's kyphosis. Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2022;19(4):6–18]. DOI: 10.14531/ss2022.4.6-18.
12. **Debnath UK, Quraishi NA, McCarthy MJH, McConnell JR, Mehdian SMH, Shetaiwi A, Grevitt MP, Webb JK.** Long-term outcome after surgical treatment of Scheuermann's kyphosis (SK). Spine Deform. 2022;10:387–397. DOI: 10.1007/s43390-021-00410-7.
13. **Михайловский М.В., Дюбуссе Ж.Ф.** Болезнь Шейерманна. Новосибирск, 2022. [Mikhaylovskiy MV, Dubousset JF. Scheuermann's Disease. Novosibirsk, 2022].

Адрес для переписки:

Михайловский Михаил Витальевич
630091, Россия, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17,
Новосибирский НИИ травматологии и ортопедии
им. Я.Л. Цивьяна,
MMihailovsky@niito.ru

Address correspondence to:

Mikhaylovskiy Mikhail Vitalyevich
Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics
n.a. Ya.L. Tsiyuan,
17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia,
MMihailovsky@niito.ru

Статья поступила в редакцию 11.05.2023

Рецензирование пройдено 29.05.2023

Подписано в печать 09.06.2023

Received 11.05.2023

Review completed 29.05.2023

Passed for printing 09.06.2023

Александр Юрьевич Сергунин, врач-травматолог-ортопед отделения детской ортопедии, Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17, ORCID: 0000-0001-6555-2007, Saport2010@ngs.ru;
Михаил Витальевич Михайловский, д-р мед. наук, проф., главный научный сотрудник отдела детской вертебрологии, Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17, ORCID: 0000-0002-4847-100X, MMibailovsky@niito.ru.

Aleksandr Yuryevich Sergunin, traumatologist-orthopedist, Department of Pediatric Orthopedics, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsiyuan, 17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia, ORCID: 0000-0001-6555-2007, Saport2010@ngs.ru;
Mikhail Vitalyevich Mikhaylovskiy, DMSc, Prof., chief researcher, Department of Pediatric Vertebrology, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsiyuan, 17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia, ORCID: 0000-0002-4847-100X, MMibailovsky@niito.ru.