



# ХИРУРГИЯ БОЛЕЗНИ ШЕЙЕРМАННА. ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

## Несистематический обзор литературы (часть II)

**М.В. Михайловский**

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

**Цель исследования.** Анализ литературных данных по вопросам частоты развития переходных кифозов в хирургии болезни Шейерманна, их связи с показателями позвоночно-тазовых параметров, факторов риска и профилактики их развития.

**Материал и методы.** Поиск источников (Scopus, Web of Science) позволил обнаружить 62 статьи, опубликованных в 1975–2021 гг., содержащих искомую информацию. Из них критериям включения соответствуют 56 публикаций.

**Результаты.** В 56 статьях содержатся данные о 2110 пациентах. Всего было диагностировано 247 (11,8 %) проксимальных переходных кифозов, включая 6 (0,3 %) случаев несостоятельности проксимального перехода. Общее количество дистальных переходных кифозов составило 124 (5,9 %). Выполнено 45 повторных операций. Авторами публикаций выявлено множество потенциальных факторов риска, однако ни по одному из них нет единого мнения. Как следствие — отсутствие обоснованной общей позиции по вопросу о профилактике развития переходных кифозов. Показатели позвоночно-тазовых параметров при болезни Шейерманна достоверно меньше, чем в общей популяции, они не имеют тенденции к изменениям после хирургической коррекции кифоза, а что касается их связи с риском развития проксимальных и дистальных переходных кифозов, то единого мнения на сегодняшний день не сложилось.

**Заключение.** Настоящий обзор — наибольший по охвату литературных источников по проблеме развития переходных кифозов в хирургии болезни Шейерманна. Причины развития этого осложнения остаются неизвестными, отсюда отсутствие общепринятых методов профилактики. Необходимы новые исследования с большими сроками послеоперационного наблюдения.

**Ключевые слова:** болезнь Шейерманна, хирургическое лечение, проксимальный переходный кифоз, дистальный переходный кифоз.

**Для цитирования:** Михайловский М.В. Хирургия болезни Шейерманна. Основные проблемы: несистематический обзор литературы (часть II) // Хирургия позвоночника. 2021. Т. 18. № 4. С. 28–40.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2021.4.28-40>.

SCHUEERMANN'S DISEASE SURGERY. MAJOR PROBLEMS: NON-SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW (PART II)

M. V. Mikhailovskiy

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

**Objective.** To analyze literature data on the frequency of junctional kyphosis in surgery for Scheuermann's disease, its relationship with spinopelvic parameters, risk factors and prevention of its development.

**Material and Methods.** A search for sources in Scopus and Web of Science databases revealed 62 articles published from 1975 to 2021 and containing the required information. Of these, 56 publications meet the inclusion criteria.

**Results.** The selected 56 articles contain data on 2,110 patients. In total, 247 (11.8 %) cases of proximal junctional kyphosis were diagnosed, including 6 (0.3 %) cases of proximal junctional failure. The total number of distal junctional kyphosis cases was 124 (5.9 %). Forty-five reoperations were performed. Many potential risk factors have been identified in publications, but there is no consensus on any of them. As a result, there is no a well-founded common position on the prevention of junctional kyphosis development. Spinopelvic parameters in Scheuermann's disease are significantly less than those in the general population and do not tend to change after surgical correction of kyphosis. As for their relationship with the risk of development of proximal and distal junctional kyphosis, there is no consensus to date.

**Conclusion.** This review is the largest in terms of coverage of literary sources on the problem of the development of junctional kyphosis in surgery for Scheuermann's disease. The causes for the development of this complication remain unknown, hence there is the lack of generally accepted methods of prevention. New studies with long postoperative follow-up are needed.

**Key Words:** Scheuermann's disease, surgical treatment, proximal junctional kyphosis, distal junctional kyphosis.

Please cite this paper as: Mikhailovskiy MV. Scheuermann's disease surgery. Major problems: non-systematic literature review (part II). Hir. Pozvonoc. 2021;18(4):28–40. In Russian.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2021.4.28-40>.

В первой части обзора (Хирургия позвоночника. 2021. Т. 18. № 3. С. 6–18) были рассмотрены проблемы, связанные с выбором метода оперативного лечения пациентов с болезнью Шейерманна. Речь шла о преимуществах и недостатках одно- и двухэтапных корригирующих вмешательств, причем одноэтапное оперативное лечение (дорсальная коррекция, спондилодез) оказалось по большинству параметров предпочтительнее двухэтапного (вентральный релиз, дорсальная коррекция, спондилодез). Второй не менее важной проблемой в хирургии болезни Шейерманна являются патологические изменения позвоночника в сагиттальной плоскости в области верхней и нижней границ зоны инструментального спондилодеза, определяемые как переходные кифозы (junctional kyphosis).

Самая ранняя публикация, посвященная результатам применения эффективных эндокорректоров (контракторы Harrington) в лечении болезни Шейерманна, датируется 1975 г. [1]. Авторы констатировали большое количество осложнений, но никаких упоминаний о переходных кифозах в статье не содержится. В следующей работе той же группы авторов [2] сообщается о значительной (более 10°) потере коррекции дистальнее зоны спондилодеза, у пяти больных нижней концевой позвонка кифотической дуги не был включен в блок. Осложнение являлось бессимптомным, но в одном случае потребовалась повторная операция. Никаких рекомендаций по определению оптимальной протяженности зоны спондилодеза авторы не приводят.

В дальнейшем количество публикаций, посвященных проблеме выбора протяженности зоны инструментального спондилодеза в хирургии болезни Шейерманна, увеличивалось. Очень скоро возникло понимание сути осложнений, связанных с неоптимальным планированием операции, которые получили определение переходных кифозов (PJK, DJK), формирующихся на верхней и нижней гра-

ницах зоны спондилодеза. Тот факт, что в подавляющем большинстве случаев эти осложнения протекали бессимптомно, отнюдь не снижал внимания к проблеме, скорее наоборот, поскольку со временем выяснилось, что переходные кифозы – не статические состояния, их течение может иметь отрицательную динамику [3]. Частота развития переходных кифозов, по общему мнению, высока, но крайне вариабельна – от 0 до 70 % [4, 5]. Сделано много попыток определения факторов риска их развития и разработки методов профилактики. Была найдена связь между развитием переходных кифозов и показателями позвоночно-тазовых параметров. При этом обзорных работ, сконцентрировавших максимально полно имеющуюся информацию по всем аспектам проблемы, очень мало [6–8].

Цель обзора – анализ литературных данных по вопросам частоты развития переходных кифозов в хирургии болезни Шейерманна, их связи с показателями позвоночно-тазовых параметров, факторов риска и профилактики их развития.

### Материал и методы

Поиск источников (Scopus, Web of Science) позволил обнаружить 62 публикации, содержащие исковую информацию, опубликованную в 1975–2021 гг. Есть основания полагать, что за пределами этого списка осталось незначительное количество могущих быть полезными статей.

Критерий включения в анализ: пациенты, оперированные по поводу тяжелых кифозов на почве болезни Шейерманна, вне зависимости от возраста и типа использованного вертебрального инструментария. Критерии невключения: величина исследуемой группы – менее 10 человек, сроки послеоперационного наблюдения – менее 24 мес. Из 62 публикаций этим критериям соответствовали 56 [1–5, 11–14, 16–62].

Использованные сокращения и дефиниции:

1. ТК (thoracic kyphosis) – угол Cobb кифотической дуги от краниальной замыкательной пластинки Th<sub>4</sub> до каудальной замыкательной пластики Th<sub>12</sub> позвонка.

2. LL (lumbar lordosis) – угол Cobb поясничного лордоза от краниальной замыкательной пластинки L<sub>1</sub> до замыкательной пластики S<sub>1</sub> позвонка.

3. PJA (proximal junctional angle) – проксимальный переходный угол; угол Cobb между линиями каудальной замыкательной пластинки верхнего инструментированного позвонка и краниальной замыкательной пластинки позвонка, расположенного на два сегмента краниальнее верхнего инструментированного позвонка [9].

4. PJK (proximal junctional kyphosis) – проксимальный переходный кифоз; проксимальный переходный угол 10° и более и, как минимум, на 10° больше, чем до операции [9].

5. PJF (proximal junctional failure) – несостоятельность проксимального перехода вследствие перелома UIV или UIV + 1, смещения эндокорректора на уровне UIV и/или сагиттального подвывиха) – PJK, сопровождающийся развитием тяжелой кифотической деформации, болевого синдрома, косметического дефекта или неврологического дефицита и требующий ревизионного вмешательства [10].

6. DJA (distal junctional angle) – угол между краниальной замыкательной пластинкой LIV и каудальной замыкательной пластинкой нижнего соседнего с ним позвонка [11].

7. DJK/DJF (distal junctional kyphosis/failure) – увеличение DGA на 10° и более и/или смещение имплантата на уровне LIV [10].

8. SSV (sagittal stable vertebra) – наиболее проксимальный позвонок, которого касается перпендикуляр, восстановленный из задневерхнего угла S<sub>1</sub> позвонка [12].

9. FLD (first lordotic disc) – наиболее проксимальный поясничный межпозвонковый диск, чьи замыкательные пластинки конвергируют (сходятся) в дорсальном направлении [13].

10. FLV (first lordotic vertebra) – позвонок, расположенный непосредственно под первым лордозированным диском.

11. SVA (sagittal vertical axis) – вертикаль, опущенная из центра тела С<sub>7</sub> позвонка на профильной спондилограмме. Расстояние (в мм) от SVA до задневерхнего угла тела S<sub>1</sub> позвонка характеризует состояние сагиттального баланса, который определяется как негативный (-), если SVA проходит дорсальнее задневерхнего угла тела S<sub>1</sub> позвонка, или позитивный (+), если вентральнее [14].

12. UEV (upper end vertebra) – верхний концевой позвонок угла Cobb кифотической дуги.

13. LEV (low end vertebra) – нижний концевой позвонок угла Cobb кифотической дуги.

14. UIV (upper instrumented vertebra) – верхний инструментированный позвонок.

15. LIV (low instrumented vertebra) – нижний инструментированный позвонок.

16. PI (pelvic incidence) – угол, образованный линией, проведенной через центр головок бедренных костей к середине замыкательной пластинки S<sub>1</sub>, и линией, перпендикулярной этой замыкательной пластинке (среднее значение 51–53°) [15].

17. PT (pelvic tilt) – угол между вертикальной линией и линией, проведенной через центр головок бедренных костей к середине замыкательной пластинки S<sub>1</sub> (среднее значение 11,1–13,0°).

18. SS (sacral slope) – угол между замыкательной пластинкой S<sub>1</sub> позвонка и горизонтальной линией (среднее значение 39,6–41,7°).

## Результаты

*Частота развития переходных кифозов.* В табл. сконцентрированы данные из 56 публикаций, посвященных результатам хирургической коррекции ювенильных кифозов. Эти работы содержат информацию, позволяющую определить частоту их развития. Мы сочли целесообразным внести

в таблицу в том числе данные из публикаций, не содержащих упоминания о развитии переходных кифозов. Авторы этих работ либо не сталкивались с развитием осложнения, либо не считали нужным упомянуть о подобных случаях. Так или иначе, но мы считаем, что включение этого материала (в первую очередь, количество оперированных больных) оправданно, так как повышает достоверность анализа в целом.

Количественный анализ сконцентрированного в таблице материала показал следующее. В 56 публикациях, посвященных результатам хирургической коррекции кифозов на почве болезни Шейерманна, содержатся данные о 2110 пациентах, то есть средняя исследуемая группа состояла из 38 человек. Сроки послеоперационного наблюдения варьировали от 24 до 216 мес. Общее количество диагностированных PJK составило 247 (11,8 % от общего числа больных), включая 6 (0,3 %) случаев PJK. Общее количество DJK составило 124 (5,9 % от общего числа больных). Всего авторам публикаций пришлось выполнить 45 повторных операций в связи с развитием клинически значимых переходных кифозов.

*Факторы риска развития переходных кифозов.* С середины 70-х гг. XX в. многие хирурги считали необходимым высказать свои соображения относительно оптимальной протяженности зоны спондилодеза при коррекции кифозов на почве болезни Шейерманна.

Taylor et al. [16], использовавшие контракторы Harrington, считали, что точек фиксации (крюков) нужно как можно больше, особенно на вершине. Они рекомендовали включать в зону блока все позвонки предоперационной дуги, то есть, как минимум, от Th<sub>3</sub> до Th<sub>12</sub> или даже более. Только так можно достичь гладкого перехода от грудного кифоза к поясничному лордозу и добиться косметического эффекта, что наиболее важно для пациента. Той же точки зрения придерживались Herndon et al. [17], подчеркнувшие, что спондило-

дез должен захватывать все клиновидные позвонки и выходить за пределы их зоны. Необходимо также блокировать сзади всю зону переднего релиза. Аналогичную тактику рекомендовали Sturm et al. [24]. По мнению Reinhardt et al. [23], зона спондилодеза должна включать не только всю зону кифоза с концевыми позвонками, но и следующий квадратный (тело позвонка не имеет клиновидности) невключенный в кифоз позвонок. Это дает гладкий переход к поясничному отделу позвоночника. Насколько мы можем судить, именно в этой работе был впервые приведен термин «junctional kyphosis» (переходный кифоз).

Lowe и Kasten [13] были, вероятно, первыми, кто в своих выводах и рекомендациях опирался на четкие определения переходных кифозов. PJK они измеряли от верхней замыкательной пластинки верхнего инструментированного позвонка до максимальной кифозированного позвонка краниальнее. Факторы риска развития PJK: коррекция более 50 % дуги, невключение в блок UEV. DJK определялся от нижней пластинки LIV до нижней пластинки самого кифотического поясничного позвонка внизу. Фактор риска: невключение в блок FLD. Включение только нижнего концевого позвонка дуги недостаточно для профилактики DJK. DJK не ассоциируется с гиперкоррекцией кифоза. Важно сохранять связочный аппарат позвоночника выше и ниже зоны блока.

Ascani и Rosa [63] предлагали продлевать зону блока на один дополнительный сегмент в зону нижнего нейтрального позвонка, всегда включая в нее L<sub>1</sub> позвонок.

Parageloupoulos et al. [27] возможными факторами риска считали остеопороз, слишком короткий спондилодез из-за неверного определения концевого позвонка, повреждение связочного аппарата (супра-, инфраостистые, задняя продольная связки), гиперкоррекцию кифоза, только рычаговый механизм коррекции (также связан с рассечением связок). По их мнению, даже при правильно выбранной

Таблица

Частота развития переходных кифозов после хирургической коррекции деформаций позвоночника на почве болезни Шейерманна (по данным литературы)

Авторы	Год	Пациенты, n	Сроки наблюдения, мес.	РЖК, n (%)	ДЖК, n (%)	Повторные операции, n
Bradford et al. [1]	1975	22	—	—	—	5
Taylor et al. [16]	1979	23	28	—	1 (4,3)*	—
Bradford et al. [2]	1980	24	24–68	1 (4,2)*	4 (16,7)*	1
Herndon et al. [17]	1981	13	29	—	3(23,0)*	—
Heine et al. [18]	1984	11	39	—	—	—
Nerubay, Katznelson [19]	1986	14	18–72	2 (14,3)*	—	2
Speck, Chopin [20]	1986	59	56	5 (8,5)*	2 (3,4)*	2
Lowe et al. [21]	1987	24	32	—	2(8,3)	2
Otsuka et al. [22]	1990	10	27	3 (30,0)	—	—
Reinhardt, Bassett [23]	1990	14	—	5 (35,7)	1 (7,1)	—
Sturm et al. [24]	1993	39	72	1 (2,6)	—	—
Lowe, Kasten [13]	1994	32	42	10 (32,2)	9 (28,1)	—
Ferreira-Alvez et al. [25]	1995	38	60	—	—	—
Gennari et al. [26]	1997	15	48	—	—	—
Papagelopoulos et al. [27]	2001	14	54–72	1 (7,1)	1 (7,1)	—
Poolman et al. [28]	2002	23	75	3 (13,0)	—	—
Hosman et al. [29]	2002	33	42	1 (3,0)	—	—
Lim et al. [30]	2004	23	38	3 (13,0)	—	—
Yang et al. [31]	2004	16	—	—	—	—
Atici et al. [32]	2004	10	60	2 (20,0)	—	—
Herrera-Soto et al. [33]	2005	19	32	—	—	—
Johnston et al. [34]	2005	27	30	—	—	—
Metz-Stavenhagen et al. [35]	2006	55	75	3 (5,4)	—	—
Arun et al. [36]	2006	15	60–70	—	3 (20,0)	—
Lee et al. [37]	2006	39	32–67	2 (5,1)	1 (2,6)	2
Lonner et al. [14]	2007	78	29–39	25 (32,1)	4 (5,1)	4
Geck et al. [38]	2007	17	24	1 (5,9)	1 (5,9)	—
Denis et al. [39]	2009	67	70	20 (29,8)	8 (11,9)	—
Cho et al. [12]	2009	31	44	3 (9,7)	7 (22,6)	—
Koptan et al. [4]	2009	33	24	1 (3,0)	—	1
Tsutsui et al. [40]	2011	11	—	—	—	—
Ning et al. [41]	2011	86	24	28 (32,6)	11 (12,8)	—
Billgic et al. [42]	2012	12	38	—	—	—
Temponi et al. [43]	2011	28	37	—	1 (3,6)*	1
Koller et al. [44]	2014	111	24	—	2 (1,8)	—
Behrbalk et al. [45]	2014	21	24	1 (4,8)	—	1
Koller et al. [46]	2015	166	43–47	—	—	—
Nasto et al. [47]	2016	37	24	7 (18,9) (3 – PJF)	—	3
Etemadifar et al. [48]	2016	30	58	1 (3,3)	1 (3,3)	2
Mikhaylovskiy et al. [49]	2015	36	42	1 (2,8)	6 (16,7)	—
Yanic et al. [50]	2016	54	28	—	11 (20,4)	—
Yanic et al. [51]	2015	60	25	5 (8,3)	—	—
Faldini et al. [52]	2015	20	25	1 (5,0)	—	1
Kahraman et al. [53]	2016	28	88	—	—	—
Riouallon et al. [54]	2018	131	51	30 (2,3)	—	5
Graat et al. [3]	2016	29	216	15 (51,7)	—	—
Ghasemi et al. [11]	2017	40	48–72	—	6 (15,0)	—

## Окончание таблицы

Авторы	Год	Пациенты, n	Сроки наблюдения, мес.	PJK, n (%)	DJK, n (%)	Повторные операции, n
Cobden et al. [55]	2017	20	41	3 (15,0)	—	—
Kim et al. [56]	2017	44	37	6 (13,6)	5 (11,4)	—
Lonner et al. [57]	2018	96	24	23 (23,9)	—	—
Dikici et al. [58]	2018	39	92	—	12 (30,8)	2
Zhu et al. [59]	2018	44	24	8 (18,2)	3 (6,8)	—
Mirzashahi et al. [60]	2018	18	18	—	—	—
Hwang et al. [61]	2019	45	15	3 (6,7)	—	1
Zhu et al. [62]	2019	45	24	—	5 (11,1)	—
McDonnell et al. [5]	2020	31	34	23 (74,2) (3 – PJF)	14 (45,1)	10 (4 – PJF)
Всего		2110	—	247 (11,8)	124 (5,9)	45

\* Диагноз сформулирован по описанию клинико-рентгенологической картины, так как авторы статьи не использовали термин «переходный кифоз».

протяженности блока концентрация дорсальных дистракционных усилий на обоих концах блока может привести к углообразованию.

С точки зрения Lim et al. [30], оптимальный уровень UIV – Th<sub>2</sub>, объем полученной коррекции не является фактором риска развития переходного кифоза. Herrera-Soto et al. [33], напротив, полагали, что коррекция до величины кифоза менее 40° и более чем на 50 % от исходной его величины нежелательна. Необходимо инструментировать все уровни переднего релиза и блокировать всю протяженность кифоза, то есть от UEV до позвонка дистальнее FLD.

Arun et al. [36] рекомендовали при кифозах больше 70° блок на уровне Th<sub>2</sub>–L<sub>2</sub> и отметили, что при верхней границе блока на уровне Th<sub>2</sub> PJK не было. Современный инструментарий и блок от Th<sub>2</sub> до FLD позволяет корректировать кифоз до нормальных параметров, проблемы гиперкоррекции не возникает, однако при BMI более 25 риск развития DJK повышен.

По мнению Lee et al. [37], оптимальная проксимальная граница зоны блока – позвонок, являющийся переходным между грудным и шейным отделами позвоночника, дистальная граница – самый проксимальный позвонок, касающийся SVA в положении стоя, при этом желательно включать в блок FLD.

Geck et al. [38] определяли проксимальную границу зоны спондилодеза на основе выбора нормально сформированного (normally aligned) сегмента грудного отдела позвоночника. Дистальная граница – первый позвонок ниже FLD.

Lonner et al. [14] подчеркивали, что развитие PJK ассоциируется с большой величиной кифоза исходно и в конце периода наблюдения, когда коррекция была небольшой. Верхняя граница зоны на уровне UEV или краиниальнее означает сниженный риск PJK. Не выявлено корреляции между типом верхнего захвата (крюки, шурупы) и развитием переходного кифоза. Фактор риска развития DJK – LIV на уровне нижнего концевого позвонка. У всех больных с DJK нижний инструментированный позвонок был расположен проксимальнее SSV.

По мнению Denis et al. [39], основные причины PJK – невключение в блок UEV, повреждение желтой связки в переходной зоне или оба эти фактора. Величина кифоза и объем его коррекции роли не играют. В то же время, если рассматривать объем коррекции отдельно (больше или меньше 50 % величины дуги), оказывается, что разница есть – 52 % против 20 % соответственно. Но эти данные теряют значение при рассмотрении случаев невключения в блок UIV или повреждения желтой связки. Желтая связка должна

сохраняться полностью – имплантация ламинарного крюка или субламинарной проволоки на уровне UIV может вести к осложнению даже при правильно выбранной границе блока. Профилактика DJK – включение в блок первого лордозированного диска (FLD).

Авторы описывают технику best fit line, которая при выборе UIV позволяет преодолеть проблему плохой визуализации верхнегрудных позвонков. Метод строится на идентификации краев передних и задних замыкательных пластинок в видимой зоне нижнешейного и верхнегрудного отделов позвоночника. Между этими зонами проводятся линии, а перпендикуляр к линиям показывает верхний инструментированный позвонок.

Cho et al. [12] предложили метод выбора LIV на основе определения SSV для получения сбалансированного и стабильного позвоночника. Неправильное планирование границ зоны кифоза нарушает общий сагиттальный баланс и повышает риск развития переходных кифозов. Авторы опираются на теорию King: стабильный позвонок должен быть самым дистальным заблокированным позвонком при грудных идиопатических сколиозах. Общий сагиттальный баланс после операции становится более негативным. Дорсальный спондилодез сдвигает ось ротации средней колонны дорсально от центра гравитации

в сагиттальной плоскости. Для поддержания сагиттального баланса после операции оба конца зоны спондилодеза должны находиться в пределах центра гравитации. Следовательно, дистальный конец должен быть на уровне SSV, а проксимальный – на уровне верхнего концевой позвонка дуги. Авторы отметили, что использование SSV позволяет уменьшить негативный баланс позвоночника. Зона блока короче, чем до SSV, приводит к тому, что дистальный конец блока располагается дорсальнее крестца. Негативный сагиттальный баланс компенсируется развитием DJK. Авторы полагают, что DJK – более серьезная проблема, чем PJK, из-за более частого и выраженного болевого синдрома.

Kortan et al. [4] применили конструкцию, где все крепежные элементы были представлены педикулярными шурупами, и отметили значительные преимущества этой техники, включая всего один случай переходного кифоза.

Ning et al. [41] полагали, что UIV должен соответствовать UEV или Th<sub>2</sub> – при наличии переднего сагиттального дисбаланса, а LIV – ниже FLD или на уровне SSV, если есть глобальный сагиттальный дисбаланс.

Tsutsui et al. [40] считали, что в качестве LIV должен выбираться наиболее проксимальный позвонок, тела которого касается задняя крестцовая линия и который расположен ниже FLD в переходной зоне между кифозом и лордозом. Выбор UIV основывается на включении в блок UEV.

Mikhaylovskiy et al. [49] и Dikici et al. [58] подтвердили обоснованность выбора SSV в качестве LIV.

Nasto et al. [47] полагали важным сохранять остистые отростки, над- и межостистые связки UIV и на уровень выше для профилактики развития PJK.

Yanic et al. [50] основывают свое понимание проблемы DJK на величине DJA. DJK диагностируется, если этот диск стал нейтральным или кифотическим. Они считают, что для профилактики DJK нет необходимости продлевать зону спондилодеза до SSV, достаточно до FLV.

Эти же авторы [51] предложили оригинальную модификацию хирургической техники – на шурупах, имплантированных в области UIV, два хода резьбы оставляются за пределами кортикальной кости. При этом всегда сохранялись связки, а UEV во всех случаях включался в блок. Новая техника делает переход от жесткой фиксации к свободным сегментам более мягким. Использовалась техника рычаговой редукции и затягивания гаек от дистального к проксимальному уровню. Это тоже снижает риск вырывания верхних шурупов.

Ghasemi et al. [11] факторами риска развития DJK считали большую коррекцию грудного кифоза, молодой возраст пациента и отстояние отвеса из LIV дорсально от крестца.

Graat et al. [3], представившие результаты операций с большими сроками наблюдения (18 лет), отметили нарастание частоты PJK с годами – с 31 до 53 %. По их мнению, выбор UEV в качестве UIV не дает достоверных преимуществ. Техника коррекции тоже не важна, важна целостность суставов и связок.

Kim et al. [56] считали, что выбор SSV в качестве LIV при болезни Шейерманна диктуется необходимостью поддержания сагиттального баланса. Гиперкифоз компенсируется шейным и поясничным гиперлордозами. Это может привести к ошибочной оценке истинно лордотических дисков, так как усиление физиологического лордоза приводит к лордозированию дисков, которым положено быть параллельными или даже слегка кифотическими. Это чревато неоптимальным выбором LIV и короткой зоны спондилодеза, что приводит к развитию DJK, смещению шурупов, декомпенсации и повторной операции. Выбор SSV снижает уровень осложнений ценой обездвиживания сегментов у молодых пациентов.

Zhu et al. [59] применили двойные стержни, что позволило снизить частоту развития PJK (более детальное описание техники будет приведено ниже).

Kumar et al. [7] предлагают строить хирургическую тактику применительно к проблеме PJK, основываясь на следующих положениях: 1) PJK – результат слишком короткой или длинной конструкции у детей и взрослых; 2) необходимо определить UEV и использовать метод best fit line; 3) желтую связку надо сохранить, коррекция больше 50 % – не фактор риска; 4) проксимальная часть стержня должна быть изогнута на кифоз; 5) коррекция кифоза должна быть гармоничной с лордозом и наклоном крестца, хотя точные соотношения пока не установлены; 6) больной и его семья должны быть предупреждены о возможности PJK и его последствиях.

Riouallon et al. [54] считают, что частота развития PJK не связана с количеством этапов операции. Важный фактор – восстановление сагиттального контура позвоночника.

Gong et al. [8] представили мета-анализ, подтвердивший преимущества выбора SSV в качестве LIV в сравнении с FLV.

Zhu et al. [62], рассматривая кифозы на почве болезни Шейерманна дифференцированно, полагают, что при груднопоясничных деформациях зона блока может быть относительно короткой (до FLV), с сохранением большего числа свободных уровней. При грудных кифозах блок надо продлить до SSV, это позволяет исключить много проблем. При грудных кифозах факторами риска могут быть большая величина кифоза и степень его коррекции. Если DJA до операции был лордотическим, а стал нейтральным или кифотическим – это тоже DJK.

Lonner et al. [57] у оперированных ими больных DJK не отметили ни разу, хотя правило включения SSV не соблюдалось. Возможно, причина отсутствия DJK в том, что вершина кифоза мигрировала в проксимальном направлении, что могло изменить SSV и FLD. Величина PJA до и после у больных с PJK и без него не отличалась. Следовательно, верхнегрудной сагиттальный контур не является фактором риска.

Hwang et al. [61] утверждают, что в оптимально выбранной зоне спондилодеза выше и ниже апекса кифоза должно быть симметричное количество сегментов, а диск над теоретическим UIV должен быть лордозирован.

Berjano et al. [64] полагают, что во избежание прогрессирования кифоза ниже зоны спондилодеза нужно продлить ее дистально на 1 сегмент в зону ниже нейтрального позвонка и всегда включать в нее L<sub>1</sub> позвонок. Защитные факторы: сопротивление межпозвонковых дисков аксиальной компрессии, сопротивление ткани тела позвонка, сопротивление содержимого грудной клетки и брюшной полости, дорсальный связочный комплекс, мышцы-экстензоры. Деформирующие факторы: флексионный момент силы, момент силы массы тела, тяга вентральных мышц и связок, неврологические и поструральные нарушения, ежедневная активность (сидение, наклоны), вентрально направленные давящие усилия (уход за больным).

McDonnell et al. [5] отмечают, что необходимо включать в блок UEV. Двухэтапное вмешательство (вентральный релиз, дорсальная коррекция) лучше предотвращает развитие PJF, чем одноэтапное (дорсальная коррекция).

Нетрудно заметить, что мнения многочисленных исследователей, приведенные выше в хронологическом порядке, содержат противоречия в вопросах выбора протяженности зоны блока и профилактики развития переходных кифозов.

*Позвоночно-тазовые параметры.* Обсуждение проблемы переходных кифозов невозможно в отрыве от вопросов, связанных с характеристиками позвоночно-тазового перехода. Изменения сагиттального профиля приводят к нарушению баланса туловища и повышенным энергетическим затратам для его сохранения. Это в полной мере относится к болезни Шейерманна, поскольку патологические изменения формы позвоночного столба при ювенильных кифозах происходят именно в сагиттальной плоскости (минимальные сколиоти-

ческие девиации практического значения не имеют). Необходимо рассмотреть минимум три аспекта проблемы: величина позвоночно-тазовых параметров при болезни Шейерманна, их динамика в послеоперационном периоде и связь с развитием переходных кифозов.

В 2014 г. опубликованы два исследования, посвященные величинам позвоночно-тазовых параметров у подростков и взрослых с болезнью Шейерманна [65, 66]. Jiang et al. [65] провели сравнение двух групп – 55 пациентов с болезнью Шейерманна и 60 здоровых подростков. Оказалось, что показатели PI и PT при болезни Шейерманна были существенно ниже, чем у здоровых подростков, – 32° против 45° и 0,2° против 11,9° соответственно. При этом негативный показатель PT (вертикальная линия расположена дорсальнее линии, соединяющей центр головок бедренных костей и замыкательную пластинку S<sub>1</sub> позвонка) у больных выявлен в 48,8 % случаев, а у здоровых – только в 10,0 %. В свою очередь, SS и отстояние SVA от дорсального угла S<sub>1</sub> различались в двух группах незначительно. Что касается грудного и груднопоясничного типов кифоза, то PI и PT в обоих случаях были ниже, чем в контрольной группе. Величина SS была существенно больше при грудных кифозах и у здоровых подростков.

PI – ключевой фактор, определяющий ориентацию таза в пространстве, он строго индивидуален и не зависит от других параметров [67], имеет тенденцию к увеличению в детском и подростковом возрасте и стабилизируется в возрасте завершения созревания скелета [68]. Jiang et al. [65] в связи с этим высказывают предположение, что низкие показатели PI у молодых пациентов с болезнью Шейерманна могут быть связаны с началом и прогрессированием кифоза в раннем возрасте. Fotiadis et al. [69] обнаружили у больных с болезнью Шейерманна более высокий рост, вес и BMI, что указывает на возможность аномального характера роста ребенка. Это может быть при-

чиной изменений в развитии не только позвоночника, но и костей таза.

Tyrakowski et al. [66] исследовали позвоночно-тазовые параметры у взрослых пациентов с болезнью Шейерманна, при этом, в отличие от Jiang et al. [65], они указывают, что PI изменяется только в первой декаде жизни, а в подростковом и взрослом возрасте остается неизменным. Они обследовали группу из 40 больных с болезнью Шейерманна (средний возраст – 25 лет) и отметили снижение всех позвоночно-тазовых параметров в сравнении с нормальными показателями: PI – 40°, PT – 7°, SS – 33°, SVA – 22 мм. Показатели PI у больных мужчин и женщин различались незначительно, также нет достоверных различий по этому параметру у больных с грудными и груднопоясничными кифозами. Достоверной корреляции между PI и величиной LL не выявлено. Авторы подчеркивают, что такая ситуация контрастирует с данными других исследователей [70], отметивших у здоровых людей высокую степень корреляции между PI и LL. Tyrakowski et al. [66] высказали предположение, что незначительная корреляция между PI и LL у пациентов с гиперкифозами является следствием того факта, что увеличение грудного или груднопоясничного кифоза компенсируется увеличением LL для поддержания нейтрального сагиттального баланса. То обстоятельство, что PI у больных с болезнью Шейерманна (как мужчин, так и женщин) значительно ниже, чем у здоровых людей и мало отличается от показателей здоровых детей, позволяет предположить, что болезнь Шейерманна, развивающаяся у растущих подростков, может влиять на процесс развития таза, приводя в конечном итоге к низким показателям PI.

Многие хирурги [5, 11, 12, 39, 44, 52, 55, 57, 58, 62, 71, 72] исследовали позвоночно-тазовые параметры у оперированных ими пациентов. Практически почти все они констатировали отсутствие сколько-нибудь значимых изменений PI, PT и SS в ближайшем и отдаленном послеоперационном периодах. Можно отметить только

работу Guler et al. [72], которые констатировали заслуживающее внимания увеличение SS и уменьшение PT, а SVA и PI остались без изменений. В свою очередь, McDonnell et al. [5] отметили значимое изменение положения SVA относительно  $S_1$  (уменьшение сагиттального дисбаланса).

Неоднократно предпринимались попытки увязать факт развития переходных кифозов с величиной позвоночно-тазовых параметров. Lonner et al. [14], оперировавшие 78 больных, констатировали развитие PJK у 25 (32,1 %) пациентов и выявили у них прямую корреляцию величины проксимального переходного угла с величиной PI, которая, в свою очередь, коррелировала с величиной LL – как с исходной, так и в конце периода наблюдения (но не ТК). PI был описан как фиксированный анатомический параметр, напрямую определяющий величину LL. Этот фактор определяет индивидуальные особенности осанки, но не связан с величиной ТК. Изменения в выстраивании отделов позвоночника (результат патологии дисков, спондилолистеза, последних спондилодеза) требуют наличия мобильных сегментов для нормализации общего сагиттального баланса. Этот механизм определяется фиксированным PI в основании позвоночного столба. Авторы полагают, что PI – важный показатель, определяющий объем коррекции при операции многоуровневого спондилодеза, когда количество свободных сегментов, участвующих в поддержании компенсации, относительно невелико. У больных с PJK величина PI коррелирует с величиной PJK. При коррекции ТК сохранение баланса обеспечивается свободными сегментами выше и ниже зоны блока, и на этот процесс влияет величина PI. Похоже, что верхнегрудной отдел позвоночника более склонен к развитию этого осложнения, поскольку изначально является кифотическим.

Nasto et al. [47] оперировали 37 больных, у семи из них констатировано развитие PJK. Исходная величина ТК одинакова в обеих группах (81,3°),

это относится и к LL (70,8° против 71,6°). В группе PJK PI был существенно больше (51,9° против 42,7°), PT и SS также превалировали, но в меньшей степени (17,4° против 9,5° и 34,4° против 33,2° соответственно). При этом показатель SVA у больных с PJK был существенно меньше (-8,2 против -12,3 мм). Послеоперационные показатели ТК и LL были практически идентичными. Однако, поскольку в группе PJK дооперационный PI был больше, послеоперационный дефицит показателя лордоза был значительным в сравнении с группой без PJK. Лордоз уменьшается после коррекции ТК, поэтому объем коррекции кифоза нужно планировать в соответствии с дооперационным PI, чтобы избежать излишнего сглаживания лордоза. Чем больше PI, тем меньше должна быть коррекция кифоза для предотвращения излишнего сглаживания LL. Авторы предлагают формулу для определения финального объема поясничного лордоза: коррекция LL (%) = 0,66 × коррекция ТК (%) = 2,0.

Если LL не соответствует PI, возникает так называемое пояснично-тазовое несоответствие (lumbopelvic mismatch) – (LL-PI), и у таких больных повышен риск развития PJK.

Lonner et al. [57] представили результаты оперативного лечения 96 больных (23 случая развития PJK). Все позвоночно-тазовые параметры остались неизменными. Авторы приводят следующие данные для групп с PJK и без PJK до и после операции: PI: 44–42° против 44–44°; PT: 17–16° против 12–15°; SS: 33–29° против 31–26°. Все различия недостоверны. Это касается и SVA. При PI < 45° больные с PJK имели большую послеоперационную величину кифоза (58° против 42°), чем без PJK. У больных с PI ≥ 45° при наличии PJK послеоперационный кифоз был меньше (23° против 39°). Индивидуализация коррекции кифоза предотвращает несоответствие величины кифоза и PI и снижает риск PJK.

Zhu et al. [62] оперировали 45 больных с грудными и грудопоясничными кифозами. PI достоверно больше

в группе грудных деформаций как до операции, так и после. Все параметры и SVA полностью остались без изменений, вне зависимости от типа деформации, наличия или отсутствия DJK.

McDonnell et al. [5] сравнивали одно- и двухэтапные вмешательства. Только SVA показала статистически значимые различия до и после операции (резкое уменьшение дисбаланса) в обеих группах. Остальные параметры менялись несущественно.

После коррекции кифоза оставшиеся мобильными сегменты должны компенсировать и восстановить сагиттальное выстраивание позвоночника. Возможность достижения этого зависит от количества свободных сегментов и от величины PI. Этот параметр не коррелирует с частотой развития переходных кифозов, однако при наличии PJK его величина напрямую коррелирует с величиной PI [14]. Если грудной кифоз подвергнут избыточной коррекции при наличии значительного PI, в поясничном отделе развивается значительное напряжение, как и в верхнегрудных неинструментированных сегментах, для достижения гармоничного глобального и регионального сагиттального баланса, в том числе позвоночно-тазового. Избыточное напряжение может привести к развитию дистального или проксимального переходного кифоза. Небольшие переходные кифозы обычно бессимптомны, но могут прогрессировать, приводя к проблемам и повторным операциям. Недостаточная коррекция, в свою очередь, приводит к формированию гиперлордоза, дегенерации дисков, болевому синдрому. Поэтому при планировании операции необходимо учитывать исходную величину PI, чтобы достичь гармоничной формы позвоночника в сагиттальной плоскости.

Таким образом, позвоночно-тазовые параметры у пациентов с болезнью Шейерманна достоверно меньше, чем в общей популяции (как у подростков, так и у взрослых), они не имеют тенденции к изменениям после хирургической коррекции кифоза, а что касается их связи с риском раз-

вития PJK и DJK, то единого мнения на сегодняшний день не сложилось, нужны новые исследования.

*Профилактика развития переходных кифозов.* Единого решения до сих пор не выработано, однако делаются попытки сформулировать базовые рекомендации по снижению частоты развития переходных кифозов. Применительно к PJK необходимо привести рекомендации Sardar et al. [9]:

- оптимизация минеральной плотности кости за 6 мес. до операции (применительно к болезни Шейерманна, вероятно, малоактуально);

- нормализация SVA (ближе к 40 мм) и LL (ближе к PI – 10,0°);

- у больных с ТК более 40° UIV должен располагаться в верхнегрудном отделе позвоночника; это положение напрямую относится к проблеме болезни Шейерманна, но включение в зону блока UEV не всеми оценивается однозначно;

- использование softer landing (мягкой посадки) в области проксимального конца зоны блока. Проблема снижения механического напряжения в местах перехода между зоной спондилодеза и свободными сегментами решается по-разному. По мнению одних авторов, при использовании педикулярной фиксации в проксимальной переходной зоне следует заменять шурупы на крюки, которые являются менее жестким крепежным элементом и создают плавный переход от фиксированных к нефиксированным позвоночным сегментам [56], другие рекомендуют при имплантации шурупов на уровне UIV оставлять два хода резьбы за пределами кортикальной костной пластинки [51]. Китайские ортопеды [59] сообщили об опыте применения сателлитных стержней в дополнение к стандартным с целью повышения корригирующего эффекта и профилактики развития переходных кифозов. Они использовали так называемые duet screws (шурупы, позволяющие фиксировать два параллельных стержня) для дополнительной фиксации позвоночника в области вершины деформации, а также выше и ниже зоны остеотомии Ponte на 1–3

сегмента – в зависимости от степени ригидности кифотической дуги искривления. В результате зона фиксации с помощью двойных стержней оказывалась на несколько сегментов короче зоны фиксации стандартными стержнями, создавался плавный переход: стандартные плюс сателлитные стержни – стандартные стержни – свободные сегменты. Сравнение двух групп пациентов (по 22 в каждой) показало, что сателлитные стержни позволяют получить больший объем коррекции (40,7° против 32,6°), меньшую потерю коррекции (1,0° против 2,4°), а также весьма существенно снизить частоту развития PJK (4,5 % против 31,8 %) и DJK (4,5 % против 9,1 %);

- контурирование стержней на кифоз (легкое) в проксимальной части конструкции;

- цементное усиление тел UIV и UIV + 1 у больных с остеопорозом (применительно к болезни Шейерманна малоактуально);

- сохранение целостности дорсального связочного комплекса, суставных капсул и параспинальной мускулатуры на уровне проксимальной части зоны спондилодеза.

Применительно к проблеме профилактики DJK можно констатировать отсутствие единомыслия по одному вопросу: выбор в качестве LIV первого лордозированного позвонка (сразу ниже FLD) или SSV, хотя в пользу последнего варианта хирургии высказываются чаще.

### Обсуждение

Переходные кифозы относятся к числу осложнений, весьма нередко сопровождающих оперативные вмешательства, имеющие целью коррекцию деформаций позвоночника различной этиологии. Основной причиной их развития считается неоптимальное планирование протяженности зоны инструментального блока, то есть локализации проксимального и дистального инструментированных позвонков. Деформации позвоночника в сагиттальной плоскости не составляют в этом смысле

исключения, в первую очередь, это касается прогрессирующих тяжелых кифозов на почве болезни Шейерманна. Количество больных, подвергающихся хирургическому лечению по поводу болезни Шейерманна, достаточно велико и постепенно растет. Coe et al. [73] опубликовали данные SRS M&M Committee (Комиссии по изучению осложнений и смертности Общества исследования сколиоза): с 2001 по 2004 г. членами SRS прооперировано 683 пациента с болезнью Шейерманна. Jain et al. [74], проанализировав данные Nationwide Impatient Sample database, сообщили о 2796 больных, оперированных в США в 2000–2008 гг. При этом количество оперированных больных неуклонно возрастало – в целом в 2,9 раза. Horn et al. [75], проанализировав KID Impatient Database (самая большая педиатрическая база данных США), обнаружили 1070 случаев болезни Шейерманна за период с 2003 по 2012 г. Количество больных (на 100 000 населения) за этот период выросло с 3,6 до 7,5. Оперативному лечению было подвергнуто 787 (76,3 %) пациентов, при этом доля оперированных больных с годами не изменилась и составила 72,8 %.

Мы предприняли попытку изучить максимально возможное количество публикаций, посвященных развитию переходных кифозов у пациентов с болезнью Шейерманна. Исследование содержимого всемирных баз данных (Scopus, Web of Science) и сопоставление его с пристатейными списками литературы позволяют предполагать, что за пределами исследованного литературного массива остается минимальное количество источников полезной информации.

Частота развития PJK и DJK составила, по данным анализа этого материала, 11,8 и 5,9 % соответственно, PJK – всего лишь 0,3 %. Учитывая тот факт, что переходные кифозы в подавляющем большинстве случаев развиваются и протекают бессимптомно, а выявляются только при тщательном анализе послеоперационных спондилограмм, можно было бы сделать

вывод, что интерес к этим патологическим состояниям несколько завышен. Об этом же могли бы свидетельствовать также редкость развития PJK (0,3 %) и повторных вмешательств (45 на 2110 пациентов). Однако такой вывод представляется совершенно необоснованным. Чтобы оценить значимость любого клинического явления, его необходимо исследовать в динамике. В то же время количество работ, посвященных отдаленным (более пяти лет) результатам хирургической коррекции кифозов на почве болезни Шейерманна, крайне ограничено [3, 39, 61, 76], причем лишь в одной из них анализируется динамика частоты развития PJK в течение длительного (в среднем – 18 лет) послеоперационного периода – количество переходных кифозов за это время возрастает с 31 до 53 %. Эта информация заставляет отказаться от скоропалительных выводов и требует продолжать накопления клинического материала.

Кифозы Шейерманна – деформации позвоночника в сагиттальной плоскости, исследование их динамики невозможно без учета позвоночно-тазовых параметров. Литературные данные свидетельствуют о том, что позвоночно-тазовые параметры у больных с болезнью Шейерманна достоверно меньше, чем в общей популяции (как у подростков, так и у взрослых), они не имеют тенден-

ции к изменениям после хирургической коррекции кифоза, а их связь с риском развития переходных кифозов оценивается исследователями неоднозначно.

Большинство хирургов, анализирующих свои результаты, пытаются идентифицировать факторы риска развития PJK и DJK. Нередко они приходят к диаметрально противоположным выводам, отсюда широкий разброс мнений относительно методов профилактики развития этого осложнения и определения оптимальной протяженности и границ инструментального спондилодеза.

Один из ведущих хирургов-вертебрологов современности проф. Dubouset за всю свою хирургическую карьеру осуществил всего 9 операций по коррекции кифозов Шейерманна, так как крайне жестко ограничивал показания к этим вмешательствам [77].

По его мнению, PJK после операции спондилодеза – это не вопрос крючков, шурупов, проволоки, связок и коннекторов, это вопрос локального баланса так называемого Cephalic Vertebra.

Он выделил три основных недостатка практикуемого предоперационного планирования:

- 1) базируется на рентгенографии и 3D-реконструкциях в статике;
- 2) игнорируются сегментарная подвижность и амплитуда движений выше и ниже зоны спондилодеза, особен-

но резерв экстензии в тазобедренных суставах;

3) игнорируется соотношение масс головы, грудной клетки, живота, таза, нижних конечностей.

К этим рекомендациям следует, как мы полагаем, отнестись очень внимательно.

## Заключение

Насколько мы можем судить, данный обзор является самым объемным и полным из всех, опубликованных на обсуждаемую тему. Его содержание убедительно свидетельствует о том, что проблема развития дистальных и проксимальных переходных кифозов в хирургии болезни Шейерманна далека от разрешения. Необходимы новые многочисленные исследования.

Основным недостатком нашего обзора следует признать то обстоятельство, что анализ литературного материала проведен недифференцированно по признаку возраста пациентов. Однако в большинстве публикаций представлены результаты лечения смешанных когорт больных, что делает практически невозможным их подразделение по возрасту на момент выполнения оперативного вмешательства.

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

## Литература/References

1. Bradford DS, Moe JH, Montalvo FJ, Winter RB. Scheuermann's kyphosis. Results of surgical treatment by posterior spine arthrodesis in twenty-two patients. J Bone Joint Surg Am. 1975;57:439–448.
2. Bradford DS, Ahmed KB, Moe JH, Winter RB, Lonstein JE. The surgical management of patients with Scheuermann's disease: a review of twenty-four cases managed by combined anterior and posterior spine fusion. J Bone Joint Surg Am. 1980;62:705–712.
3. 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.
4. Koptan VM, 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.
5. McDonnell JM, Ahern DP, Lui DF, Yu H, Lehovskiy 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 Surg. 2020;102-B:1368–1374. DOI: 10.1302/0301-620X.102B10.BJJ-2020-0273.R3.
6. Cho SK, Kim YJ, Lenke LG. Proximal junctional kyphosis following spinal deformity surgery in the pediatric patient. J Am Acad Orthop Surg. 2015;23:408–414. DOI: 10.5435/JAAOS-D-14-00143.
7. Kumar A, Leven D, Ren Y, Lonner B. Scheuermann's kyphosis surgery complication. In: Mummaneni P, Park P, Crawford CH 3rd, Kanter AS, Glassman SD. (eds), Spinal Deformity: A Case-Based Approach to Managing and Avoiding Complications. Springer, 2017:115–122.
8. Gong Y, Yuan L, He M, Yu M, Zeng Y, Liu X, Chen Z. Comparison between stable sagittal vertebra and first lordotic vertebra instrumentation for prevention of distal junctional kyphosis in Scheuermann disease: systematic review and meta-analysis. Clin Spine Surg. 2019;32:330–336. DOI: 10.1097/BSD.0000000000000792.

9. **Sardar ZM, Kim Y, Lafage V, Rand F, Lenke L, Klineberg E.** State of the art: proximal junctional kyphosis – diagnosis, management and prevention. *Spine Deform.* 2021;9:635–644. DOI: 10.1007/s43390-020-00278-z.
10. **Yilgor C, Sogunmez N, Boissiere L, et al.** Global Alignment and Proportion (GAP) Score: development and validation of a new method of analyzing spinopelvic alignment to predict mechanical complications after adult spinal deformity surgery *J Bone Joint Surg Am.* 2017;99:1661–1672. DOI: 10.2106/JBJS.16.01594.
11. **Ghasemi A, Stubig T, Nasto LA, Ahmed M, Mehdian H.** Distal junctional kyphosis in patients with Scheuermann's disease: a retrospective radiographic analysis. *Eur Spine J.* 2017;26:913–920. DOI: 10.1007/s00586-016-4924-3.
12. **Cho KJ, Lenke LG, Bridwell KH, Kamiya M, Sides B.** Selection of the optimal distal fusion level in posterior instrumentation and fusion for thoracic hyperkyphosis: the sagittal stable vertebra concept. *Spine.* 2009;34:765–770. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31819e28ed.
13. **Lowie TG, Kasten MD.** An analysis of sagittal curves and balance after Cotrel-Dubousset instrumentation for kyphosis secondary to Scheuermann's disease. A review of 32 patients. *Spine.* 1994;19:1680–1685. DOI: 10.1097/00007632-199408000-00005.
14. **Lonner BS, Newton P, Betz R, Scharf C, O'Brien M, Sponseller P, Lenke L, Crawford A, Lowe T, Letko L, Harms J, Shufflebarger H.** Operative management of Scheuermann's kyphosis in 78 patients: radiographic outcomes, complications, and technique. *Spine.* 2007;32:2644–2652. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31815a5238.
15. **Duval-Beaupere G, Schmidt C, Cosson P.** A barycentremetric study of the sagittal shape of spine and pelvis: the conditions required for an economic standing position. *Ann Biomed Eng.* 1992;20:451–462. DOI: 10.1007/BF02368136.
16. **Taylor TC, Wenger DR, Stephen J, Gillespie R, Bobechko WP.** Surgical management of thoracic kyphosis in adolescents. *J Bone Joint Surg Am.* 1979;61:496–503.
17. **Herndon WA, Emans JB, Micheli LJ, Hall JE.** Combined anterior and posterior fusion for Scheuermann's kyphosis. *Spine.* 1981;6:125–130. DOI: 10.1097/00007632-198103000-00003.
18. **Heine J, Stauch R, Matthias HH.** Ergebnisse der operative Behandlung des Morbus Scheuermann. *Z Orthop Unfall.* 1984;122:743–749. DOI: 10.1055/s-2008-1045060.
19. **Nerubay J, Katznelson A.** Dual approach in the surgical treatment of juvenile kyphosis. *Spine.* 1986;11:101–102. DOI: 10.1097/00007632-198601000-00032.
20. **Speck GR, Chopin DC.** The surgical treatment of Scheuermann's kyphosis. *J Bone Joint Surg Br.* 1986;68:189–193. DOI: 10.1302/0301-620X.68B2.3958000.
21. **Lowie TG.** Double L-rod instrumentation in the treatment of severe kyphosis secondary to Scheuermann's disease. *Spine.* 1987;12:336–341. DOI: 10.1097/00007632-198705000-00005.
22. **Otsuka NY, Hall JE, Mah JY.** Posterior fusion for Scheuermann's kyphosis. *Clin Orthop Relat Res.* 1990;(251):134–139.
23. **Reinhardt P, Bassett GS.** Short segmental kyphosis following fusion for Scheuermann's disease. *J Spinal Disord.* 1990;3:162–168.
24. **Sturm PF, Dobson JC, Armstrong GW.** The surgical management of Scheuermann's disease. *Spine.* 1993;18:685–691. DOI: 10.1097/00007632-199305000-00002.
25. **Ferreira-Alvez A, Resina J, Palma-Rodrigues R.** Scheuermann's kyphosis. The Portuguese technique of surgical treatment. *J Bone Joint Surg Br.* 1995;77:943–950.
26. **Gennari JM, Aswad R, Ripoll B, Bergoin M.** Indications for surgery in so-called "regular" thoracic and thoracolumbar kyphosis. *Eur Spine J.* 1997;6:25–32. DOI: 10.1007/BF01676571.
27. **Papagelopoulos PJ, Klassen RA, Peterson HA, Dekutoski MB.** Surgical treatment of Scheuermann's disease with segmental compression instrumentation. *Clin Orthop Relat Res.* 2001;(386):139–149. DOI: 10.1097/00003086-200105000-00018.
28. **Poolman RW, Been HD, Ubags LH.** Clinical outcome and radiographic results after operative treatment of Scheuermann's disease. *Eur Spine J.* 2002;11:561–569. DOI: 10.1007/s00586-002-0418-6.
29. **Hosman AJ, Langeloo DD, de Kleuver M, Anderson PG, Veth RP, Slot GH.** Analysis of the sagittal plane after surgical management for Scheuermann's disease: a view on overcorrection and the use of an anterior release. *Spine.* 2002;27:167–175. DOI: 10.1097/00007632-200201150-00009.
30. **Lim M, Green D, Billingham JE, Huang RC, Rawlins BA, Widmann RF, Burke SW, Boachie-Adjei O.** Scheuermann kyphosis: safe and effective surgical treatment using multisegmental instrumentation. *Spine.* 2004;29:1789–1794. DOI: 10.1097/01.brs.0000134571.55158.01.
31. **Yang C, Askin G, Yang S.** [Combined thoracoscopic anterior spinal release and posterior correction for Scheuermann's kyphosis]. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi.* 2004;42(21):1293–1295. In Chinese.
32. **Atici T, Aydinli U, Akesen B, Serifoglu R.** Results of surgical treatment for kyphotic deformity of the spine secondary to trauma or Scheuermann's disease. *Acta Orthop Belg.* 2004;70:344–348.
33. **Herrera-Soto JA, Parikh SN, Al-Sayyad MJ, Crawford AH.** Experience with combined video-assisted thoracoscopic surgery (VATS) anterior spinal release and posterior spinal fusion in Scheuermann's kyphosis. *Spine.* 2005;30(19):2176–2181. DOI: 10.1097/01.brs.0000180476.08010.c1.
34. **Johnston CE 2nd, Elerson E, Dagher G.** Correction of adolescent hyperkyphosis with posterior-only threaded rod compression instrumentation: is anterior spinal fusion still necessary? *Spine.* 2005;30:1528–1534. DOI: 10.1097/01.brs.0000167672.06216.73.
35. **Metz-Stavenhagen P, Ferraris L, Krebs S, Hempfing A.** Scheuermann's kyphosis – single posterior approach or anterior release and posterior instrumentation? *Spine J.* 2006;6(5 suppl):117S. DOI: 10.1016/j.spinee.2006.06.216.
36. **Arun R, Mehdian SM, Freeman BJ, Sithole J, Divjina SC.** Do anterior interbody cages have a potential value in comparison to autogenous rib graft in the surgical management of Scheuermann's kyphosis? *Spine J.* 2006;6:413–420. DOI: 10.1016/j.spinee.2005.10.016.
37. **Lee SS, Lenke LG, Kuklo TR, Valente L, Bridwell KH, Sides B, Blanke KM.** Comparison of Scheuermann kyphosis correction by posterior-only thoracic pedicle screw fixation versus combined anterior/posterior fusion. *Spine.* 2006;31:2316–2321. DOI: 10.1097/01.brs.0000238977.36165.b8.
38. **Geck MJ, Macagno A, Ponte A, Shufflebarger HL.** The Ponte procedure: posterior only treatment of Scheuermann's kyphosis using segmental posterior shortening and pedicle screw instrumentation. *J Spinal Disord Tech.* 2007;20:588–593. DOI: 10.1097/BSD.0b013e31803d3b16.
39. **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.
40. **Tsutsui S, Pavecek JB, Bastrom TP, Shah SA, Newton PO.** Do discs "open" anteriorly with posterior-only correction of Scheuermann's kyphosis? *Spine.* 2011;36:E1086–E1092. DOI: 10.1097/BRS.0b013e318201b6c7.
41. **Ning Y, Lenke LG, Bridwell KH, Koester L.** How to determine option fusion levels of Scheuermann's kyphosis. In: Final Program of the SRS 46th Annual Meeting and Course, Louisville, Kentucky, USA, 2011:92–93.
42. **Billig S, Ersen O, Eroglu M, Ege T, Koca K, Oguz E, Schirlioglu A.** Scheuermann kifozunun posteriyor transpedikuler vida ile tedavi. *Gulhane Tip Derg.* 2012;54:65–69.
43. **Temponi EF, de Macedo RD, Pedroza LO, Fontes BP.** Scheuermann's kyphosis: comparison between the posterior approach associated with Smith-Petersen osteotomy and combined anterior-posterior fusion. *Rev Bras Ortop.* 2011;46:709–717. DOI: 10.1016/S2255-4971(15)30329-3.
44. **Koller H, Juliane Z, Umstaetter M, Meier O, Schmidt R, Hitzl W.** Surgical treatment of Scheuermann's kyphosis using a combined antero-posterior strategy and pedicle screw constructs: efficacy, radiographic and clinical outcomes in 111 cases. *Eur Spine J.* 2014;23:180–191. DOI: 10.1007/s00586-013-2894-2.
45. **Behrbalk E, Uri O, Parks RM, Greivitt MP, Rickertr M, Boszczyk BM.** Posterior-only correction of Scheuermann kyphosis using pedicle screws: economical optimiza-

- tion through screw density reduction. *Eur Spine J.* 2014;23:2203–2210. DOI: 10.1007/s00586-014-3472-y.
46. **Koller H, Lenke LG, Meier O, Zenner J, Umschlaeger M, Hempfing A, Hitzl W, Bridwell KH, Koester LA.** Comparison of anteroposterior to posterior-only correction of Scheuermann's kyphosis: a matched-pair radiographic analysis of 92 patients. *Spine Deform.* 2015;3:192–198. DOI: 10.1016/j.jspd.2014.09.048.
  47. **Nasto LA, Perez-Romera AB, Shalabi ST, Quraishi NA, Mehdian H.** Correlation between preoperative spinopelvic alignment and risk of proximal junctional kyphosis after posterior-only surgical correction of Scheuermann's kyphosis. *Eur Spine J.* 2016;(4 Suppl):S26–S33. DOI: 10.1016/j.spinee.2015.12.100.
  48. **Etemadifar M, Ebrahmezadeh M, Hadi A, Feizi M.** Comparison of Scheuermann's kyphosis correction by combined anterior-posterior fusion versus posterior-only procedure. *Eur Spine J.* 2016;25:2580–2586. DOI: 10.1007/s00586-015-4234-1.
  49. **Mikhaylovskiy MV, Sorokin AN, Novikov VV, Vasyura AS.** Selection of the optimal level of distal fixation for correction of Scheuermann's hyperkyphosis. *Folia Med (Plovdiv).* 2015;57:29–36. DOI: 10.1515/folmed-2015-0016.
  50. **Yanic HS, Ketenci IE, Coskun T, Ulusoy A, Erdem S.** Selection of distal fusion level in posterior instrumentation and fusion of Scheuermann kyphosis: is fusion to sagittal stable vertebra necessary? *Eur Spine J.* 2016;25:583–589. DOI: 10.1007/s00586-015-4123-7.
  51. **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.
  52. **Faldini C, Traina F, Perna F, Borghi R, Martikos K, Greggi T.** Does surgery for Scheuermann kyphosis influence sagittal spinopelvic parameters? *Eur Spine J.* 2015;24 suppl 7:893–897. DOI: 10.1007/s00586-015-4253-y.
  53. **Kahraman S, Kaya O, Mutlu A, et al.** Assessment of the non-fused lumbar segments in terms of facet and disc degeneration after surgical treatment of Scheuermann kyphosis: an MRI study. In: Final Program of the SRS 51st Annual Meeting and Course, Prague, 2016:230–231.
  54. **Riouallon G, Morin C, Charles YP, Roussouly P, Kreichati G, Obeid I, Wolff S.** Posterior-only versus combined anterior/posterior fusion in Scheuermann disease: a large retrospective study. *Eur Spine J.* 2018;27:2322–2330. DOI: 10.1007/s00586-018-5633-x.
  55. **Cobden A, Albayrak A, Camuscu Y, Sofu H, Tacal T, Kaygusuz MA.** Posterior-only approach with pedicle screws for the correction of Scheuermann's kyphosis. *Asian Spine J.* 2017;11:S13–S19. DOI: 10.4184/asj.2017.11.4.513.
  56. **Kim H, Nemani V, Boachie-Adjei O, Cunningham ME, Iorio JA, O'Neill K, Neuman BJ, Lenke LG.** Distal fusion level selection in Scheuermann's kyphosis: a comparison of lordotic disc segment versus the sagittal stable vertebrae. *Global Spine J.* 2017;7:254–259. DOI: 10.1177/2192568217699183.
  57. **Lonner BS, Parent S, Shah SA, Sponseller P, Yaszay B, Samdani AF, Cahill PJ, Pahys JM, Betz R, Ren Y, Shuffelbarger HL, Newton PO.** Reciprocal changes in sagittal alignment with operative treatment of adolescent Scheuermann kyphosis – prospective evaluation of 96 patients. *Spine Deform.* 2018;6:177–184. DOI: 10.1016/j.jspd.2017.07.001.
  58. **Dikici F, Akgul T, Sariyilmaz K, Korkmaz M, Ozkunt O, Sar C, Domanic U.** Selection of distal fusion level in terms of distal junctional kyphosis in Scheuermann kyphosis. A comparison of 3 methods. *Acta Orthop Traumatol Turc.* 2018;52:7–11. DOI: 10.1016/j.aott.2017.11.012.
  59. **Zhu ZZ, Chen X, Qiu Y, Chen ZH, Li S, Xu L, Sun X.** Adding satellite rods to standard two-rod construct with the use of duet screws: an effective technique to improve surgical outcomes and preventing proximal junctional kyphosis in posterior-only correction of Scheuermann kyphosis. *Spine.* 2018;43:E758–E765. DOI: 10.1097/BRS.0000000000002489.
  60. **Mirzashahi B, Chehrassan M, Arfa A, Farzan M.** Severe rigid Scheuermann kyphosis in adult patients; correction with posterior-only approach. *Musculoskelet Surg.* 2018;102:257–260. DOI: 10.1007/s12306-017-0526-4.
  61. **Hwang CJ, Lenke LG, 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.
  62. **Zhu W, Sun X, Pan W, Yan H, Liu Z, Qiu Y, Zhu Z.** Curve patterns deserve attention when determining the optimal distal fusion level in correction surgery for Scheuermann kyphosis. *Spine J.* 2019;19:1529–1539. DOI: 10.1016/j.spinee.2019.04.007.
  63. **Ascani E, La Rosa G.** Scheuermann kyphosis. In: Weinstein SL, ed. *The Pediatric Spine: Principles and Practice.* New York, NY: Raven Press, 1994:557–584.
  64. **Berjano P, Damilano M, Pejrona M, Langella F, Lamartina C.** Revision surgery in distal junctional kyphosis. *Eur Spine J.* 2020;29(Suppl 1):86–102. DOI: 10.1007/s00586-020-06304-y.
  65. **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.
  66. **Tyrakowski M, Mardjetko S, Siemionov K.** Radiographic spinopelvic parameters in skeletally mature patients with Scheuermann disease. *Spine.* 2014;39:E1080–E1085. DOI: 10.1097/BRS.0000000000000460.
  67. **Legaye J, Duval-Beaupere G, Hecquet J, Marty C.** Pelvic incidence: a fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal sagittal curves. *Eur Spine J.* 1998;7:99–103. DOI: 10.1007/s005860050038.
  68. **Mac-Thiong JM, Berthonnaud E, Dimar JR 2nd, Betz RR, Labelle H.** Sagittal alignment of the spine and pelvis during growth. *Spine.* 2004;29:1642–1647. DOI: 10.1097/01.brs.0000132312.78469.7b.
  69. **Fotiadis E, Kenanidis E, Samoladas E, Christodoulou A, Akritopoulos P, Akritopoulou K.** Scheuermann's disease: focus on weight and height role. *Eur Spine J.* 2008;17:673–678. DOI: 10.1007/s00586-008-0641-x.
  70. **Boulay C, Tardieu C, Hecquet J, Benaim C, Mouilleseaux B, Marty C, Prat-Pradal D, Legaye J, Duval-Beaupere G, Pelissier J.** Sagittal alignment of spine and pelvis regulated by pelvic incidence: standard values and prediction of lordosis. *Eur. Spine J.* 2006;15:415–422. DOI: 10.1007/s00586-005-0984-5.
  71. **Jansen RC, van Rhijn LW, van Ooij A.** Predictable correction of the unfused lumbar lordosis after thoracic correction and fusion in Scheuermann kyphosis. *Spine.* 2006;31:1227–1231. DOI: 10.1097/01.brs.0000217682.53629.ad.
  72. **Guler O, Akgul T, Korkmaz M, Gunerbuyuk C, Sariyilmaz K, Dikici F, Talu U.** Postoperative changes in sacropelvic junction in short-segment angular kyphosis versus Scheuermann kyphosis. *Eur Spine L.* 2017;26:928–936. DOI: 10.1007/s00586-016-4756-1.
  73. **Coe JD, Smith JS, Berven S, Arlet V, Donaldson W, Hanson D, Mudiyaam R, Perra J, Owen J, Marks MC, Shaffrey CI.** Complications of spinal fusion for Scheuermann kyphosis: a report of the scoliosis research society morbidity and mortality committee. *Spine.* 2010;35:99–103. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181c47f0f.
  74. **Jain A, Sponseller PD, Kebaish KM, Mesfin A.** National trends in spinal fusion surgery for Scheuermann kyphosis. *Spine Deform.* 2015;3:52–56. DOI: 10.1016/j.jspd.2014.06.009.
  75. **Horn SR, Poorman GW, Tishelman JC, Bortz CA, Segreto FA, Moon JY, Zhou PL, Vaynrub M, Vasquez-Montes D, Beaubrun BM, Diebo BG, Vira S, Raad M, Sciubba DM, Lafage V, Schwab FJ, Errico TJ, Passias PG.** Trends in treatment of Scheuermann kyphosis: a study of 1,070 cases from 2003 to 2012. *Spine Deform.* 2019;7:100–106. DOI: 10.1016/j.jspd.2018.06.004.
  76. **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.
  77. **Dubouset J.** Personal communication. 2016.

**Адрес для переписки:**

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

*Received 13.10.2021*

*Review completed 17.09.2021*

*Passed for printing 20.09.2021*

**Address correspondence to:**

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

*Статья поступила в редакцию 13.10.2021*

*Рецензирование пройдено 17.09.2021*

*Подписано в печать 20.09.2021*

*Михаил Витальевич Михайловский, д-р мед. наук, проф., главный научный сотрудник отдела детской вертебологии, Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17, ORCID: 0000-0002-4847-100X, MMihailovsky@niito.ru.*

*Mikhail Vitalyevich Mikhaylovskiy, DMSc, Prof., chief researcher, Department of Pediatric Vertebrology, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsivyan, 17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia, ORCID: 0000-0002-4847-100X, MMihailovsky@niito.ru.*