

СОЧЕТАНИЕ ДЕГЕНЕРАТИВНОГО СТЕНОЗА ПОЗВОНОЧНОГО КАНАЛА С ДЕФОРМАЦИЕЙ ПОЗВОНОЧНИКА НА ПОЯСНИЧНОМ УРОВНЕ. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

А.С. Никитин¹, А.А. Гринь^{1,2}

¹ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России; Россия, 127473 Москва, ул. Десятская, 20, стр. 1;

²ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы»; Россия, 129090 Москва, Большая Сухаревская пл., 3

Контакты: Андрей Анатольевич Гринь aagreen@yandex.ru

Цель исследования — провести анализ данных литературы, посвященной вопросам деформации позвоночника у больных с дегенеративным стенозом позвоночного канала на поясничном уровне.

Материалы и методы. Изучены 90 научных источников, опубликованных в 1980–2017 гг.

Результаты. Описаны параметры, используемые для оценки деформации позвоночника, рассмотрена их роль в прогнозировании течения дегенеративной болезни позвоночника. Приведены результаты современных исследований влияния деформации позвоночника на исход хирургического лечения больных с дегенеративным стенозом позвоночного канала на поясничном уровне. Определены факторы риска прогрессирования сколиоза: клиновидная форма межпозвонкового диска во фронтальной плоскости, низкое прохождение межреберной линии, латеральный спондилолистез, маленький размер тела позвонка L₄, ротация позвонков, угол Кобба более 20°, нарушение сагиттального баланса.

Заключение. При отсутствии факторов риска прогрессирования сколиоза и наличии только корешковой симптоматики (без выраженной боли в поясничной области) у пациентов с дегенеративным стенозом позвоночного канала на поясничном уровне и деформацией позвоночника рекомендовано выполнение декомпрессивных вмешательств с сохранением дугоотростчатых суставов. При отсутствии факторов риска прогрессирования сколиоза, наличии корешковой симптоматики и боли в поясничной области целесообразно сочетать декомпрессию с короткой фиксацией. При наличии факторов риска декомпрессию необходимо дополнить длинной фиксацией, превышающей длину дуги сколиоза.

Ключевые слова: дегенеративный стеноз позвоночного канала, деформация позвоночника, сколиоз, факторы риска, декомпрессия, фиксация, болевой синдром

Для цитирования: Никитин А.С., Гринь А.А. Сочетание дегенеративного стеноза позвоночного канала с деформацией позвоночника на поясничном уровне. Обзор литературы. Нейрохирургия 2018;20(3):91–103.

DOI: 10.17650/1683-3295-2018-20-3-91-103

Combination of degenerative lumbar spinal stenosis and spinal deformity. Literature review

A.S. Nikitin¹, A.A. Grin^{1,2}

¹A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Ministry of Health of Russia; Build. 1, 20 Delegatskaya St., Moscow 127473, Russia;

²N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow Healthcare Department; 3 Bol'shaya Sukharevskaya Sq., Moscow 129090, Russia

The study objective is to analyze currently available publications on spinal deformity in patients with degenerative lumbar spinal stenosis.

Materials and methods. We analyzed 90 manuscripts published between 1980 and 2017.

Results. We describe the parameters used to assess spinal deformity and evaluate their role for predicting the course of degenerative spinal disease. We provide the results of latest studies assessing the impact of spinal deformity on the outcome of surgical treatment in patients with degenerative lumbar spinal stenosis. We identified the following risk factors for scoliosis progression: wedge-shaped intervertebral disc in the frontal projection, low middle sacral axis, lateral spondylolisthesis, small L₄ vertebral body, vertebral rotation, Cobb angle >20°, and sagittal imbalance.

Conclusion. We recommend decompressive interventions with facet joint preservation in patients with spinal deformity and degenerative lumbar spinal stenosis with no risk factors for scoliosis progression and radicular symptoms only (without pronounced low back pain).

In patients with no risk factors for scoliosis progression, radicular symptoms, and low back pain, it is advisable to combine decompression with short fixation. For individuals at risk of scoliosis progression, we recommend supplementing decompression with long fixation exceeding scoliosis curve.

Key words: degenerative spinal stenosis, spinal deformity, scoliosis, risk factors, decompression, fixation, pain syndrome

For citation: Nikitin A.S., Grin' A.A. Combination of degenerative lumbar spinal stenosis and spinal deformity. Literature review. *Neurokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2018;20(3):91–103.

ВВЕДЕНИЕ

Дегенеративный стеноз позвоночного канала на поясничном уровне происходит вследствие дегенеративных и гипертрофических изменений элементов, образующих стенки канала. Общая частота симптомного стеноза в популяции составляет около 5 % среди пациентов моложе 50 лет и около 10–15 % среди пациентов в возрасте 50–70 лет [1]. В ряде случаев дегенеративное сужение позвоночного канала сочетается со смещением оси позвоночника — с нарушением так называемого позвоночного баланса. Другое распространенное название нарушения позвоночного баланса — деформация позвоночника. Позвоночный баланс может нарушаться во фронтальной или в сагиттальной плоскости, а также сразу в обеих плоскостях. К деформации во фронтальной плоскости относят сколиоз, к деформациям в сагиттальной плоскости — гиперлордоз, гиполордоз, синдром плоской спины, кифоз, спондилолистез.

ДЕФОРМАЦИИ ПОЗВОНОЧНИКА В САГИТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

В сагиттальной плоскости позвоночник имеет анатомические изгибы: лордоз в шейном и поясничном отделах, кифоз в грудном отделе, наклоненный вперед крестец. Крестец связан с тазом через крестцово-подвздошные сочленения. Оценить сагиттальный баланс позвоночника позволяет боковая рентгенография всего позвоночника с захватом основания черепа и головок бедренных костей. В случае отсутствия нарушения баланса позвоночника условная вертикальная ось проходит через позвоночник, нижние конечности и пятки (рис. 1а). Данной вертикальной осью, определяющей сагиттальный баланс позвоночника, является вертикальная линия отвеса из геометрического центра тела позвонка C_7 (C_7 plumb line). В случае отсутствия нарушения баланса позвоночника эта линия должна проходить через задний край верхней замыкательной пластинки позвонка S_1 . Баланс считается идеальным, если диапазон отклонения данной линии вперед или назад не превышает 2 см (рис. 1б). При таком положении позвоночника нагрузка на позвоночные сегменты распределяется оптимально, и это уменьшает затраты энергии поддерживающих позвоночник мышц. Если наблюдается отклонение вперед, говорят о положительном значении сагиттального баланса, если назад — об отрицательном. Расстояние

от заднего угла крестца до C_7 plumb line называют сагиттальной вертикальной осью (sagittal vertical axis, SVA), по данному параметру оценивают глобальный сагиттальный позвоночный баланс. Выраженным нарушением сагиттального баланса является значение по сагиттальной вертикальной оси более 50 мм (рис. 1в).

В таком случае избыточное смещение вперед C_7 plumb line свидетельствует о нарушении сагиттального баланса и, соответственно, перегрузке мышечно-связочно-суставного аппарата позвоночника. Каждый сантиметр положительного смещения сагиттального

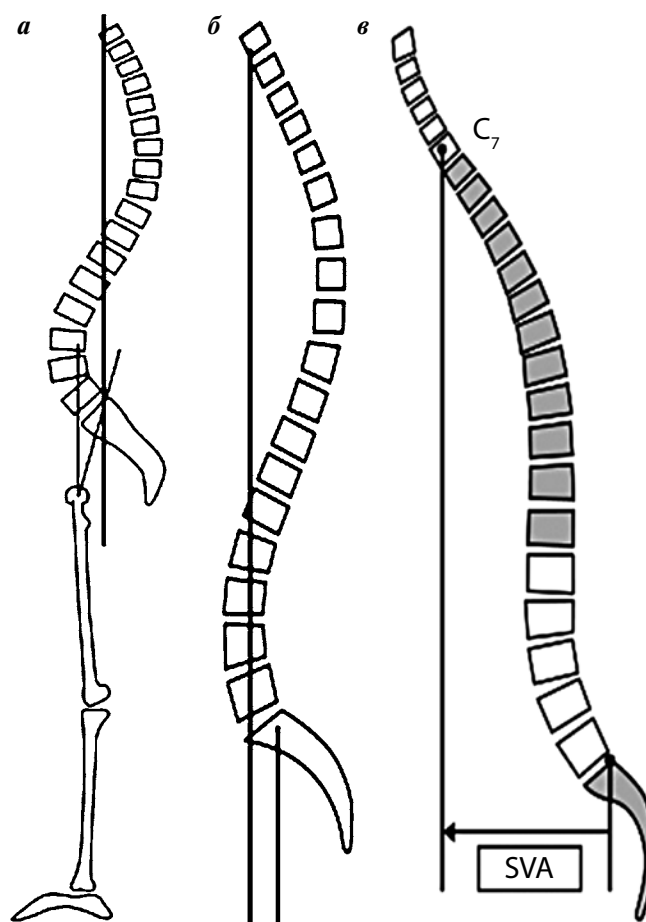


Рис. 1. Схематичное изображение позвоночника. Вертикальная линия — отвес из тела позвонка C_7 ; а, б — нормальный сагиттальный баланс; в — нарушение сагиттального баланса, увеличение значения по сагиттальной вертикальной оси (sagittal vertical axis, SVA)

Fig. 1. Scheme of the spine. Vertical line is C_7 plumb line; а, б — normal sagittal balance; в — sagittal imbalance with sagittal vertical axis (SVA) deviation (increase)

баланса увеличивает нагрузку на нижнепоясничный отдел позвоночника на 60 %. Это ведет к усугублению дегенеративных процессов, развитию так называемой механической аксиальной боли в позвоночнике и/или его нестабильности. В многочисленных исследованиях установлена корреляция между степенью нарушения сагиттального баланса, выраженностью боли в спине и снижением качества жизни (по индексу инвалидизации Освестри (Oswestry Disability Index) и др.) [2, 3]. J.K. Lim и S.M. Kim изучили частоту выявления рентгенологических признаков нарушения сагиттального баланса у 70 больных с дегенеративным поясничным спондилолистезом и 72 больных с дегенеративным стенозом позвоночного канала на поясничном уровне [4]. Признаком нарушения сагиттального баланса авторы считали значение по SVA >50 мм. Авторы выявили нарушение сагиттального баланса у 34 % больных со спондилолистезом и у 12 % со стенозом. По другим данным, при дегенеративном стенозе позвоночного канала нарушение сагиттального баланса встречается у 30 % пациентов [5]. Однако у 70 % таких больных нарушение сагиттального баланса носит обратимый характер. Так, многие пациенты со стенозом на поясничном уровне наклонены вперед, так как данное положение увеличивает объем позвоночного канала и уменьшает интенсивность корешковой боли. У них возможно компенсаторное уплощение как грудного кифоза, так и поясничного лордоза [6]. После проведения декомпрессивной операции и регресса болевого синдрома такой пациент выпрямляется, через несколько месяцев восстанавливается поясничный лордоз и сагиттальный баланс позвоночника [7–9].

Сагиттальный баланс определяется позвоночно-тазовым взаимоотношением. Наиболее значимы следующие параметры: положение бикоксофemorальной

оси (bicoxofemoral axis), тазобедренный угол (pelvic incidence, PI), угол поясничного лордоза (lumbar lordosis, LL), угол наклон таза (pelvic tilt, PT), угол наклона крестца (sacral slope, SS) (рис. 2). В русскоязычной литературе встречаются различные варианты перевода этих терминов, поэтому в дальнейшем тексте мы будем использовать устоявшиеся англоязычные аббревиатуры. Все перечисленные параметры индивидуальны, но при нормальном сагиттальном балансе они имеют строго определенное соотношение друг с другом. Суть нарушения сагиттального баланса состоит именно в нарушении данных соотношений. С возрастом происходят характерные изменения сагиттальных параметров позвоночника: сглаживание поясничного лордоза, усугубление грудного кифоза, увеличение значения по SVA, т. е. смещение сагиттального баланса в сторону положительных значений. Данные факты были подтверждены при рентгенологическом обследовании здоровых добровольцев разных возрастных групп [10].

Бикоксофemorальная ось — линия, соединяющая центры вертлужных впадин таза, она является строго горизонтальной в случае отсутствия фронтального дисбаланса таза.

PI — угол между линией, проходящей от центра верхней замыкательной пластинки крестца перпендикулярно к плоскости ее сечения, и линией, соединяющей центр верхней замыкательной пластинки крестца с бикоксофemorальной осью. PI — неизменяемый анатомический параметр, диапазон нормальных значений которого составляет 30–80° [11, 12]. При большом PI характерно горизонтальное положение крестца, при маленьком PI — вертикальное.

LL — угол, образованный перпендикулярами к плоскостям сечения нижней замыкательной пластинки тела позвонка Th₁₂ и верхней замыкательной пластинки

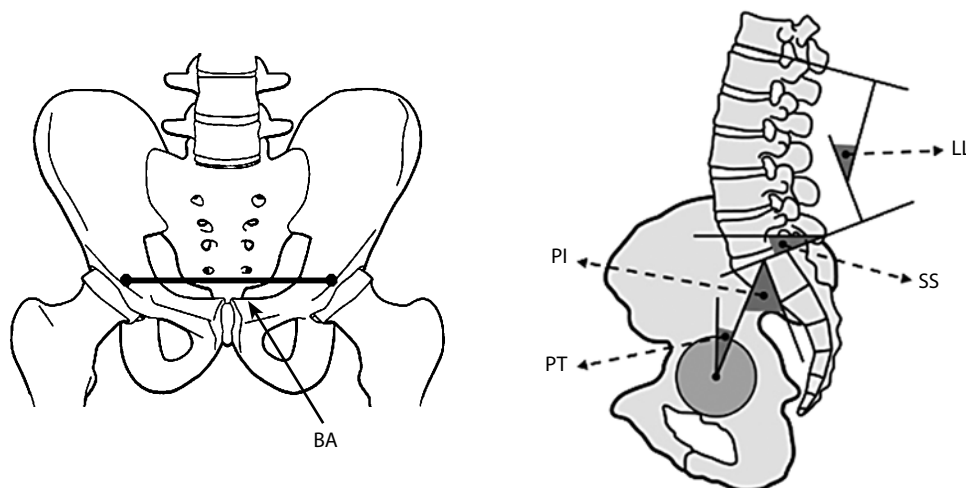


Рис. 2. Схематичное изображение основных параметров позвоночно-тазового баланса во фронтальной (а) и сагиттальной (б) плоскостях. BA — бикоксофemorальная ось (bicoxofemoral axis); LL — угол поясничного лордоза (lumbar lordosis); PI — тазобедренный угол (pelvic incidence); PT — угол наклона таза (pelvic tilt); SS — угол наклона крестца (sacral slope)

Fig. 2. Scheme of measuring main parameters of pelvic balance in the frontal (a) and sagittal (б) planes. BA — bicoxofemoral axis; LL — lumbar lordosis; PI — pelvic incidence; PT — pelvic tilt; SS — sacral slope

тела позвонка S_1 . Величина угла поясничного лордоза на 2/3 формируется за счет сегментов L_4-S_1 , а сегменты L_3-S_1 формируют 85 % величины лордоза [13]. Диапазон нормальных величин угла поясничного лордоза, по данным разных авторов, составляет 30–80°, аналогично PI [14]. При нормальном сагиттальном балансе величина LL должна быть не меньше PI. Поясничный лордоз может меняться по мере прогрессирования дегенеративной болезни позвоночника.

SS — угол между линией, лежащей на плоскости сечения верхней замыкательной пластинки крестца, и горизонтальной линией.

PT — угол, образованный линией, соединяющей центр верхней замыкательной пластинки тела позвонка S_1 с бикоксофemorальной осью, и вертикальной линией, проведенной из точки пересечения. Нормальные значения PT составляют 12–18°. PT — параметр, который также может меняться по мере прогрессирования дегенеративной болезни позвоночника.

Большой PI — фактор риска развития дегенеративного и истмического спондилолистеза [12, 15–17]. При средних значениях LL дугоотростчатые суставы несут 16 % объема осевой нагрузки, падающей на позвоночный сегмент, остальная нагрузка ложится на межпозвонковый диск [18]. При гиперлордозе нагрузка на дугоотростчатые суставы увеличивается, что ведет к спондилоартрозу суставов L_4-L_5 , L_5-S_1 и может быть причиной развития фасеточного синдрома, латерального стеноза [19–23]. В случае гиполордоза увеличивается нагрузка на межпозвонковые диски, соответственно возрастает риск их дегенерации [24].

При дегенеративной болезни позвоночника действуют 2 механизма изменения позвоночно-тазового баланса:

- 1) изменение поясничного лордоза (изменение разности от вычитания LL из PI ($PI - LL$));
- 2) поворот таза вокруг бикоксофemorальной оси (изменение PT).

Наиболее типичным изменением поясничного лордоза при дегенеративной болезни позвоночника является его трансформация в гиполордоз. Соответственно, весь позвоночник несколько наклоняется вперед, нарастает значение по SVA. Для коррекции сагиттального баланса включается механизм поворота таза назад вокруг бикоксофemorальной оси, увеличения PT. В результате позвоночник как бы «запрокидывается» назад, и сагиттальный баланс компенсируется. Если действия этого механизма недостаточно для компенсации, то сохранение нарушенного сагиттального баланса ведет к перегрузке позвоночника и крестцово-подвздошных сочленений и появлению боли в спине [25]. Нарушенный сагиттальный баланс — основная причина развития синдрома смежного уровня после спондилодеза. Таким образом, при хирургическом лечении больного с дегенеративной болезнью позвоночника необходимо

оценивать параметры сагиттального баланса и при необходимости корректировать их.

Единственный параметр тазово-позвоночного баланса, который можно изменить хирургическим путем (путем спондилодеза), это LL. Наиболее известной формулой сбалансированного позвоночника является предложенное F. Schwab и соавт. соотношение: $LL = PI + 9^\circ$ [26]. Таким образом, ориентируясь на величину PI, хирург формирует правильный LL. Правильность данной формулы была подтверждена в многочисленных исследованиях с участием пациентов, у которых выполняли спондилодез по поводу дегенеративной болезни позвоночника. Наилучшие результаты наблюдались, если PI после операции не превышал LL [27–32]. Если после спондилодеза PI превышает LL на 10°, в 3 раза возрастает риск (до 50–80 %) сохранения боли в спине и развития синдрома смежного уровня [11, 28].

Если при нарушенном сагиттальном балансе у пациента была ретроверсия таза (большой PT), то после хирургического формирования правильного LL таз должен вернуться в правильное положение. Если такого изменения не происходит и послеоперационная величина PT превышает 25°, это также рассматривается как фактор высокого риска сохранения боли в спине и развития синдрома смежного уровня [27, 33–35].

SVA — критерий оценки глобального сагиттального баланса; значение по SVA после операции также позволяет прогнозировать исход лечения. Как было сказано выше, в норме оно не должно превышать 50 мм. S. Dohzono и соавт. изучили эффективность эндоскопической межламинарной декомпрессии у 88 пациентов с симптомным стенозом позвоночного канала на поясничном уровне [36]. По типу сагиттального баланса пациенты были распределены по 2 группам: 1-я группа ($n = 35$) со значением по SVA >50 мм (в среднем 81 мм), 2-я группа ($n = 53$) со значением по SVA <50 мм (в среднем 22 мм). До операции интенсивность боли в спине у пациентов 1-й группы в среднем оценивалась в 5 баллов по ВАШ, в ноге — в 5,8 балла; у больных 2-й группы — соответственно в 4,2 и 6 баллов. После операции интенсивность боли в спине у больных 1-й группы в среднем снизилась до 2,1 балла по ВАШ, в ноге — до 1,9 балла; у больных 2-й группы — соответственно до 1,1 и 0,9 балла. Таким образом, при нарушении сагиттального баланса у пациентов наблюдалась более интенсивная боль в спине до операции и после нее.

Другие авторы в похожем исследовании получили несколько отличающиеся результаты. T. Hikata и соавт. изучали эффективность микрохирургической декомпрессии (фасетсохраняющей ламинэктомии) у 109 пациентов с симптомным поясничным стенозом. По типу сагиттального баланса пациенты были распределены по 2 группам: группа A ($n = 65$) со значением по SVA <50 мм, группа B ($n = 44$) со значением по SVA >50 мм. Катамнез после операции охватывал в среднем

2,6 года. Авторы отметили статистически значимое уменьшение значения по SVA у пациентов группы В в среднем с 76 до 54 мм. У пациентов группы А значение по SVA в среднем уменьшилось с 25 до 23 мм. Величина LL у больных группы В увеличилась в среднем с 27° до 34°, а у больных группы А не поменялась. Средняя оценка интенсивности боли в спине по ВАШ у больных группы А уменьшилась с 5,5 до 2,5 балла, а у больных группы В с 5,6 до 2,6 балла. Авторы указали, что нарушение сагиттального баланса сохранялось у пациентов, у которых до операции значение по SVA было >80 мм ($n = 13$, около 10 % от общего числа пациентов). Можно предположить, что этим больным необходимо было провести коррекцию сагиттального баланса. Как отдельный феномен авторы отмечают увеличение значения по SVA у 12 больных группы А (18,5 %); факторов риска развития данного осложнения авторам выявить не удалось. Отдельно исследователи проанализировали исходы у 33 больных, у которых после операции значение по SVA было >50 мм (12 больных группы А, 21 больной группы В). Выявлено, что боль в поясничной области до операции у этих пациентов оценивалась в 6 баллов по ВАШ, после операции — 4 балла по ВАШ, т. е. результат хирургического лечения у этих пациентов был наилучшим [37].

С.Н. Bayerl и соавт. проанализировали результаты хирургического лечения 100 пациентов с дегенеративным люмбалным стенозом, которым была выполнена микрохирургическая декомпрессия. В зависимости от параметров сагиттального баланса больные были распределены по 4 группам: 1-я группа ($SS < 35^\circ$, выраженный лордоз в сегментах S_1-L_4 , обычный кифоз в грудном отделе, но включающий в себя сегменты $Th_{12}-L_2$), 2-я группа ($SS < 35^\circ$, поясничный гиполордоз, грудной гипокифоз, синдром плоской спины), 3-я группа ($35^\circ < SS < 45^\circ$, нормальный поясничный лордоз и нормальный поясничный кифоз), 4-я группа ($SS > 45^\circ$, выраженный поясничный лордоз, выраженный грудной кифоз) (рис. 3). Катамнез после операции включал данные в среднем за 16 мес. Выявлено, что наилучшие результаты получены у больных 1-й группы, боль в спине осталась у 57 % пациентов. У пациентов остальных 3 групп хорошие и отличные результаты были достигнуты в 80 % случаев, причем они статистически значимо не различались у больных разных групп [38].

По данным М.Н. Кумаг и соавт., если после спондилодеза значение по SVA превышает 2,5 см, то вероятность развития синдрома смежного уровня составляет 50 %. Еще одним фактором риска развития синдрома смежного уровня авторы называют вертикальное положение крестца (из-за гиполордоза) [39].

М.К. Kim и соавт. анализировали исходы спондилодеза у 18 больных с дегенеративным спондилолистезом. По изменениям сагиттального баланса больные были распределены по 2 группам. У больных группы А наблюдалось отсутствие динамики или увеличение РТ,

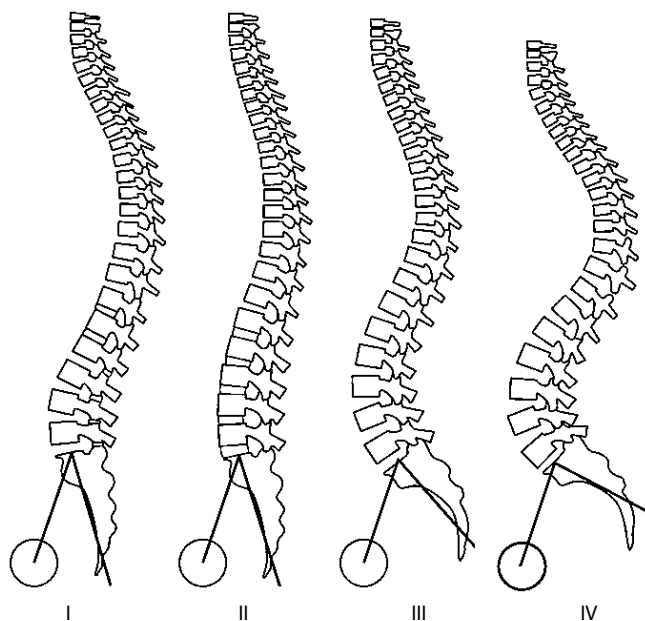


Рис. 3. Схематичное изображение 4 типов сагиттального баланса [38]

Fig. 3. Scheme of 4 types of sagittal balance

уменьшение или отсутствие динамики SS, уменьшение лордоза. У больных группы В отмечено уменьшение РТ, нарастание SS, уменьшение лордоза. У больных группы А уменьшилась интенсивность боли по ВАШ на 54 %, качество жизни по опроснику Освестри улучшилось на 45 %; у больных группы В — соответственно на 76 и 62 % [40].

В ряде случаев сагиттальный баланс может нарушаться вторично, например при поражении тазобедренных суставов. Так, В.М. Шаповалов и соавт. описывают пациентов с краниальным смещением одной из головок бедренной кости (в результате дегенеративного поражения, дисплазии или травмы) [41]. Смещение тазобедренной оси приводило к перекосу таза во фронтальной плоскости и в большинстве случаев к антеверсии таза. Антеверсия таза, соответственно, вызывала компенсаторный поясничный гиперлордоз, сопровождающийся болью. Аналогичные наблюдения описывают и другие авторы, указывая даже на риск развития спондилолистеза при такой вторичной антеверсии таза [42, 43]. Перекос таза во фронтальной плоскости логично ведет к развитию сколиотической деформации на поясничном уровне [44]. При вторичном нарушении сагиттального баланса его восстановление возможно после устранения первопричины, например после эндопротезирования тазобедренных суставов при коксартрозе [45]. До 30 % больных с дегенеративным стенозом на поясничном уровне имеют сопутствующую дегенеративную патологию тазобедренного сустава [46]. Соответственно, можно предположить, что существует группа больных с поясничным стенозом, у которых нарушение сагиттального баланса вторично и связано с коксартрозом.

Как было сказано выше, хирургическим путем можно изменить единственный параметр позвоночно-го баланса — LL, и его величина должна определяться по формуле: $LL = PI + 9^\circ$. Моделирование лордоза возможно провести путем установки транспедикулярных винтов и межтеловых кейджей. После установки транспедикулярных винтов в их головки вставляется балка, по балке головки винтов стягиваются, за счет этого возможно увеличить лордоз в позвоночном сегменте. Увеличение лордоза также возможно путем разгибания операционного стола. Некоторые авторы считают, что сагиттальный баланс более эффективно корректируется при использовании моноаксиальных винтов, так как подвижные головки полиаксиальных винтов не позволят так стянуть позвонки, как это позволяют моноаксиальные винты [47].

Существуют работы, в которых авторы сравнивают возможности различных методов межтелового спондилодеза: переднего (anterior lumbar interbody fusion, ALIF), заднего (posterior lumbar interbody fusion, PLIF), заднебокового (transforaminal lumbar interbody fusion, TLIF), бокового (extreme lateral interbody fusion, XLIF) при коррекции гиполордоза. Более выраженная коррекция лордоза, согласно этим исследованиям, достигается при применении ALIF, так как при этом выполняется резекция передней продольной связки. По данным разных авторов, использование ALIF позволяет увеличить угол в спондилодезном сегменте до $12\text{--}14^\circ$, XLIF — до 12° , TLIF — до 8° , PLIF — до 7° [13, 48–51]. Для каждой методики фиксации разработана линейка межтеловых кейджей различных размеров и с различными сегментарными углами, это позволяет скорректировать угол в сегменте до необходимого значения (в пределах возможности методики фиксации).

В редких случаях при выраженном гиполордозе (синдроме плоской спины) или кифотической деформации поясничного отдела позвоночника восстановление лордоза возможно только путем остеотомии тела позвонка. Типы остеотомии различаются объемом резекции (рис. 4) [52, 53]. При разных типах остеотомии возможно сформировать сегментарный угол в диапазоне от 10° до 40° . Выполнение остеотомии тела

позвонка сопряжено с интенсивной кровопотерей, значительно уменьшить объем которой позволяет использование костного ножа.

Хирургические вмешательства, направленные на восстановление лордоза, можно расположить в следующем порядке по возрастанию эффективности: PLIF, TLIF, XLIF, ALIF, остеотомия. T.S. Videbaek и соавт. провели рандомизированное исследование динамики сагиттального баланса у пациентов, перенесших только PLIF, и пациентов, у которых спондилодез был комбинированным (PLIF + ALIF). После операции динамика сагиттального баланса была примерно одинакова в обеих группах [54].

Не решен вопрос о необходимости репозиции листевого позвонка при дегенеративном спондилолистезе. Проведены работы, сравнивающие эффективность комбинаций декомпрессии с фиксацией без репозиции (*in situ*) и декомпрессии с фиксацией и репозицией. Разные авторы в аналогичных исследованиях получили противоречивые результаты [55, 56]. Так, K. Wegmann и соавт. отмечают улучшение результатов при репозиции [57], а F. Omid-Kashani и соавт. — не отмечают [58]. Судя по исследованиям, проведенным при истмическом спондилолистезе, коррекцию необходимо осуществлять только при листезах IV степени, в противном случае после операции сохраняется достаточно интенсивная боль в поясничной области [55, 59]. Однако при дегенеративном спондилолистезе такое выраженное смещение позвонка маловероятно. В доступной литературе не удалось найти исследований, установивших корреляцию между особенностями выполнения репозиции и динамикой сагиттального баланса, а также клиническим исходом. Однако очевидно, что после репозиции значение по SVA уменьшается, так как позвоночник сдвигается назад относительно крестца. Логично предположить, что у больных с большим положительным значением сагиттального баланса репозиция спондилолистезного позвонка внесет вклад в нормализацию баланса.

Таким образом, сагиттальный баланс — один из базовых параметров, определяющих как выраженность симптомов у больных с дегенеративным стенозом позвоночного канала на поясничном уровне, так

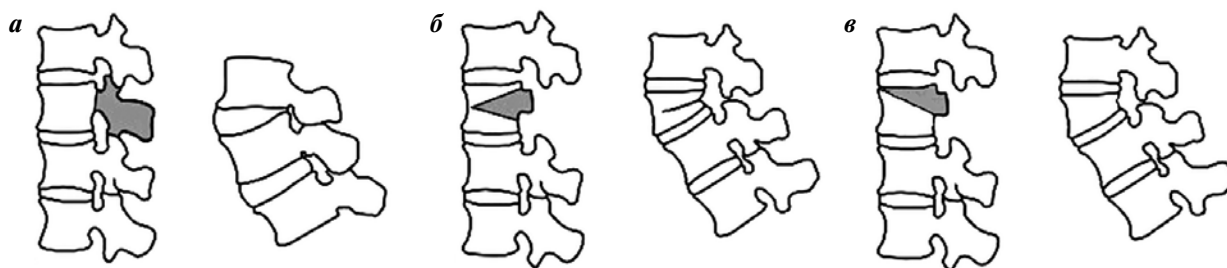


Рис. 4. Схематичное изображение типов остеотомии позвонка при нарушении сагиттального баланса: а — по Смит-Петерсону, б — педикулярная субтракционная, в — угловая

Fig. 4. Schemes of vertebral osteotomy for sagittal imbalance: а — Smith-Petersen osteotomy, б — pedicle subtraction osteotomy, в — angular osteotomy

и эффективность хирургического лечения. Нарушение сагиттального баланса встречается у 12–30 % таких пациентов, однако даже у них в большинстве случаев достаточно проведения только декомпрессии, после которой происходит нормализация сагиттального баланса (помимо регресса корешковой симптоматики). До 10 % больных с дегенеративным стенозом позвоночного канала на поясничном уровне имеют значение $SVA > 80$ мм. У этих пациентов декомпрессивное хирургическое вмешательство необходимо дополнять коррекцией поясничного лордоза, руководствуясь формулой $LL = PI + 9^\circ$. Метод хирургического лечения (тип спондилодеза, остеотомия) следует выбирать в зависимости от выраженности нарушения сагиттального баланса. Также факторами риска сохранения боли в спине после декомпрессии без коррекции лордоза являются следующие параметры сагиттального баланса: $SS < 35^\circ$, выраженный лордоз в сегментах S_1-L_4 , обычный кифоз в грудном отделе, но включающий в себя сегменты $Th_{12}-L_2$.

У части больных нарушение сагиттального баланса, в отличие от самого стеноза позвоночного канала, представляется потенциально обратимым при использовании специализированной лечебной физкультуры. Однако в настоящее время недостаточно исследований в этой области.

ДЕФОРМАЦИИ ПОЗВОНОЧНИКА ВО ФРОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

Сколиоз — это искривление позвоночника во фронтальной плоскости с углом Кобба, превышающим 10° . Угол Кобба образован перпендикулярами к плоскостям нижней поверхности верхнего и верхней поверхности нижнего позвонков сколиотической дуги (рис. 5). Позвонки сколиотической дуги, располагаю-

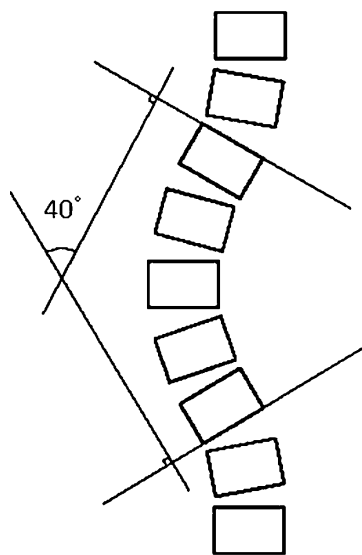


Рис. 5. Схематичное изображение измерения угла Кобба

Fig. 5. Scheme of measuring the Cobb angle

щийся на максимальном отдалении от срединной линии, называется апикальным. Дегенеративным сколиозом считают искривление позвоночника, которое развивается у взрослого человека уже после завершения окостенения скелета [60]. Обычно дегенеративный сколиоз развивается после 50 лет. Среди лиц старше 60 лет частота дегенеративного поясничного сколиоза достигает 30 % [61], в большинстве случаев этот процесс асимптомный. Частота формирования стеноза позвоночного канала на фоне дегенеративного сколиоза составляет 60–90 % [62, 63]. Фактором, запускающим развитие дегенеративного сколиоза, является несимметричная дегенерация межпозвонкового диска и дугоотростчатых суставов [64, 65].

Анатомической предпосылкой развития дегенеративного сколиоза может стать тропизм дугоотростчатых суставов, на фоне которого создается неравномерная нагрузка на правую и левую стороны позвоночного сегмента [66]. Для дегенеративного сколиоза характерны ротации позвонков и/или латеральный спондилолиз, что провоцирует развитие стеноза позвоночного канала [67]. При данных деформациях позвоночника происходит компрессия как латеральных карманов, так и межпозвонковых отверстий [68]. Фораминальный стеноз типичен для дегенеративного сколиоза. По данным А. А. de Vries и соавт., номер апикального позвонка связан с стороной сколиоза: L_1 и L_2 характерны для правостороннего сколиоза, а L_3 , L_4 — для левостороннего [69]. В случае односторонней корешковой симптоматики у больных со стенозом и сколиозом симптомная сторона бывает одинаково часто как на открытой стороне сколиотической дуги, так и на закрытой [69].

Непростой задачей считается решение вопроса о хирургическом лечении пациентов с дегенеративным стенозом позвоночного канала на поясничном уровне в сочетании со сколиозом. У них может быть проведена изолированная декомпрессия или декомпрессия в сочетании с фиксацией. Фиксация возможна как короткая (на уровне декомпрессии) в пределах сколиотической дуги, так и длинная, превышающая по длине сколиотическую дугу.

Проведение декомпрессии без фиксации у данной категории больных оправданно в 2 случаях: при отсутствии интенсивной боли в области сколиоза и при отсутствии факторов риска прогрессирования сколиоза. По данным обзора литературы S.S. Faraj и соавт., такими факторами риска являются: разница между высотой диска справа и высотой слева > 20 %, латеральный спондилолиз размером > 6 мм, прохождение межребневой линии на уровне позвонка L_5 (в норме должна проходить не ниже уровня позвонка L_4) (рис. 6) [70]. S. Jimbo и соавт. называют одним из факторов риска также малый размер тела позвонка L_4 относительно длины туловища [71].

А. Minamide и соавт. у пациентов с дегенеративным стенозом и сколиозом после изолированной

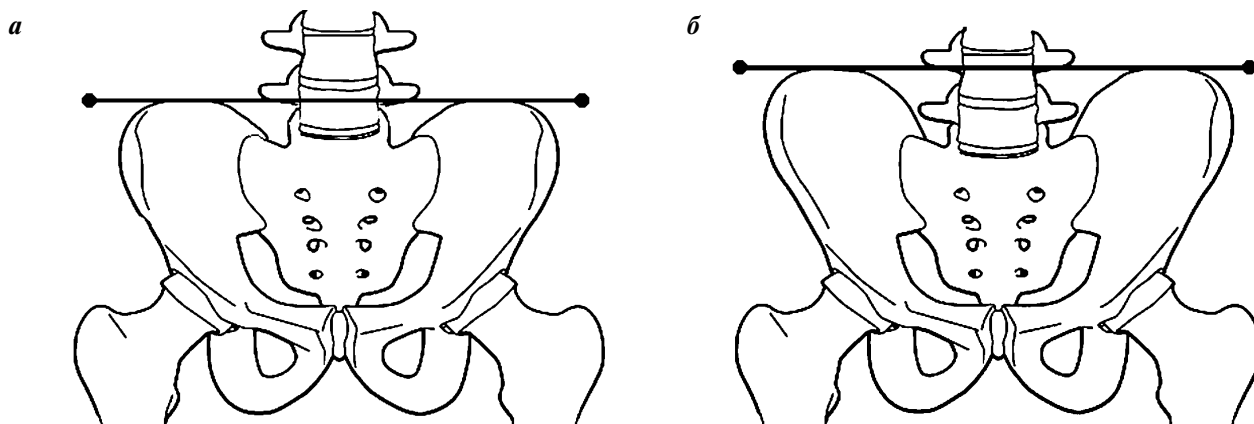


Рис. 6. Схематичное изображение межгребневой линии, проходящей по верхнему краю подвздошных костей: а — на уровне позвонка L_4 ; б — на уровне позвонка L_5

Fig. 6. Scheme of iliac crest axis lying along the upper edge of the iliac bones: а — at the L_4 level; б — at the L_5 level

межламнарной декомпрессии выявили факторы риска прогрессирования сколиоза: угол Кобба $>20^\circ$ и разность LL и PI ($PI - LL >20^\circ$, $PT >25^\circ$, $LL <20^\circ$). При наличии данных факторов у пациента после операции нарастает выраженность сколиоза и сохраняется боль в поясничной области [72]. Таким образом, нарушение сагиттального баланса также выступает фактором риска прогрессирования сколиоза. По данным С. Yang, нарушение сагиттального баланса характерно для пациентов с углом Кобба $>30^\circ$ [73].

А. Matsumura и соавт. при проведении микрохирургической декомпрессии у больных с дегенеративным сколиозом и стенозом принципиально важным считают сохранение дугоотростчатых суставов [74]. Резекция дугоотростчатых суставов более чем на 20–30 % их величины — фактор риска прогрессирования деформации позвоночника во фронтальной плоскости.

К. Yamada и соавт. выполнили микрохирургическую фораминотомию у 30 пациентов с дегенеративным поясничным сколиозом и стенозом позвоночного канала, сбор катамнеза продолжался 20 мес [75]. До операции помимо стандартного обследования выполняли прямую спондилографию в положении лежа на спине и в положении стоя. В зависимости от увеличения угла Кобба при вертикализации пациенты были распределены по группам: в 1-й группе угол увеличивался на 3° и более, во 2-й — менее чем на 3° . У 50 % больных 1-й группы через 3–20 мес после операции произошел рецидив радикулопатии, у 30 % исходы были хорошими или отличными. У больных 2-й группы рецидивов радикулопатии не зарегистрировано, у 70 % пациентов результаты были хорошими или отличными. Авторы делают вывод, что нестабильность позвоночника во фронтальной плоскости у пациентов с дегенеративным сколиозом и стенозом позвоночного канала является фактором высокого риска рецидива стеноза после только декомпрессивной операции. Соответственно, у таких пациентов декомпрессию необходимо дополнять стабилизацией.

С. Tsutsui и соавт. проанализировали результаты микрохирургической декомпрессии у 75 пациентов с дегенеративным поясничным сколиозом и стенозом позвоночного канала. Авторы установили, что самый важный фактор риска сохранения боли в поясничной области после операции — апикальная ротация позвонка. У пациентов с болью средняя оценка ротации апикального позвонка по шкале Нэша–Мо составила 1,5 балла (рис. 7), а у больных без боли — 0,9 балла [76]. N. Hosogane и соавт. в аналогичном исследовании сравнивали пациентов с нарастанием выраженности сколиоза и больных без изменений. Авторы не выявили корреляции между величиной ротации апикального позвонка и степенью прогрессирования сколиоза [77]. По данным М. Kato и соавт., риск повторного развития стеноза у больных после микрохирургической декомпрессии имеется при клиновидном угле диска $L_4-L_5 >3^\circ$ во фронтальной плоскости [78].

Таким образом, в настоящее время выявлены факторы риска прогрессирования дегенеративного сколиоза как при естественном течении болезни, так и после декомпрессивной операции без фиксации. Данные факторы перечислены в таблице. При наличии данных факторов хирургическое вмешательство необходимо дополнять фиксацией зоны сколиоза.

Коррекцию и фиксацию зоны сколиоза проводят с использованием различных систем, наиболее распространена транспедикулярная фиксация. Различают короткую фиксацию (1–3 сегмента) в пределах сколиотической дуги и длинную фиксацию, превышающую по длине дугу. В случае вовлечения в сколиоз всего поясничного отдела длинная фиксация обычно захватывает позвонки $Th_{10}-L_5$ (S_1). Короткая фиксация оптимальна для пациентов, у которых нет нарушения сагиттального баланса, сколиоз невыраженный (угол Кобба $<30^\circ$), однако помимо корешковой симптоматики наблюдается боль в поясничной области. N. Wang и соавт. сообщили о хороших результатах короткой фиксации методом PLIF у пациентов с дегенеративным

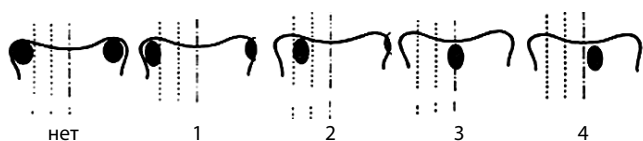


Рис. 7. Схематичное изображение ротации позвонка (шкала Нэша–Мо), которая оценивается по рентгенограмме в прямой проекции. Тень ножки обозначена кружком или овалом черного цвета. С нарастанием степени ротации тень ножки позвонка смещается к срединной линии и за нее

Fig. 7. Scheme of measuring vertebral rotation (Nash–Moe rotation scale), evaluated on frontal X-ray. The pedicle shadow is indicated by a black circle or oval. The pedicle shadow is skewed towards the median line and behind it as the rotation increases

сколиозом с углом Кобба $<20^\circ$ и болью в спине [79]. S.E. Lee и соавт. представили опыт лечения 28 пациентов с умеренным дегенеративным стенозом и сколиозом, у которых выполняли декомпрессию и фиксацию системой Dynesys (Zimmer, Швейцария). До операции угол Кобба составил в среднем 14° , оценка интенсивности боли в спине по ВАШ – 6,5 балла, в ноге – 6,4 балла, качество жизни по опроснику Освестри – 60 %. После операции отмечена положительная динамика, сохранившаяся и через 4 года: угол Кобба – 4° , интенсивность боли в спине – 3,7 балла, в ноге – 4 балла, качество жизни по опроснику Освестри – 35 % [80].

Длинная система фиксации позволяет лучше скорректировать угол Кобба и сагиттальный баланс по сравнению с короткой фиксацией [81]. Если короткой системы фиксации недостаточно, сколиоз продолжит прогрессировать. По данным K.Y. Lee и соавт., прогрессирование сколиоза в таком случае наиболее заметно в течение 6–12 мес после операции [82]. Однако даже при длинной фиксации сохраняется риск декомпенсации нарушенного сагиттального баланса. K.J. Cho и соавт. такими факторами риска считают значение по SVA >6 см, PI $>55^\circ$, послеоперационный псевдоартроз в сегменте L_5-S_1 [83]. Для выраженного сколиоза (угол Кобба $>30^\circ$) характерно сопутствующее нарушение сагиттального баланса, в этом случае коррекцию позвоночника необходимо проводить в 2 плоскостях. F. Zhu и соавт. называют оптимальной разность LL и PI (PI – LL) $<9^\circ$ после операции [84], а H.C. Zhang и соавт. – $10-20^\circ$ [85].

По данным F.C. Li и соавт., в хирургии дегенеративного сколиоза использование TLIF позволяет лучше скорректировать поясничный лордоз и, соответственно, сагиттальный баланс. При этом результаты коррекции позвоночного баланса во фронтальной плоскости при применении TLIF не лучше, чем при использовании PLIF. Авторы отмечают, что при TLIF наблюдался больший регресс болевого синдрома, чем при PLIF, что связано как с лучшей коррекцией сагиттального баланса, так и с полноценной декомпрессией позвоночного канала при фораминальном стенозе, который часто встречается на фоне сколиоза [86].

Факторы риска прогрессирования сколиоза

Risk factors for scoliosis progression

Параметр Parameter	Значение параметра Value
Разница между высотой межпозвонкового диска справа и слева Difference in the intervertebral disc height on the right and left sides	>20 %
Величина латерального спондилолистеза Lateral spondylolisthesis	>6 мм >6 mm
Уровень межгребневой линии Level of the iliac crest axis	Ниже L_4 Below L_4
Размер тела позвонка L_4 Size of L_4 body	Малый Small
Угол Кобба Cobb angle	$>20^\circ$
Разница углов PI и LL Difference between the PI and LL angles	$>20^\circ$
Угол наклона таза Pelvic tilt	$>25^\circ$
Угол LL LL angle	$<20^\circ$
Величина резекции дугоотростчатых суставов при микрохирургической декомпрессии Extent of facet joint resection in microsurgical decompression	>30 %
Увеличение угла Кобба при вертикализации Cobb angle increase in verticalization	$>3^\circ$
Оценка ротации апикального позвонка по шкале Нэша–Мо Apical vertebral rotation measured using the Nash–Moe scale	$>1,2$ балла >1.2 points

Примечание. LL – угол поясничного лордоза (lumbar lordosis); PI – тазобедренный угол сустава (pelvic incidence).
Note. LL – lumbar lordotic angle, PI – pelvic incidence angle.

Y. Zhu и соавт. сообщают об эффективной коррекции дегенеративного сколиоза методом TLIF с латеральной имплантацией межтелового кейджа с закрытой стороны сколиотической дуги. Авторы собрали 8-летний катамнез у 95 пациентов. Угол Кобба уменьшился с 30° до 8° , интенсивность боли по ВАШ – с 9 до 2 баллов, качество жизни по Освестри улучшилось на 20 % [87].

Опубликованы результаты нескольких исследований, посвященных оценке эффективности минимально инвазивного XLIF у пациентов с дегенеративным поясничным сколиозом и стенозом. Данная методика позволяет уменьшить угол Кобба на $10-15^\circ$ и улучшить качество жизни по опроснику Освестри на 20–25 % [88]. Сторонники данной методики указывают на возможность более полноценного восстановления высоты диска за счет имплантации большего межтелового кейджа [89]. Соответственно, во фронтальной плоскости

лучше восстанавливается форма межтелового промежутка — клиновидная становится нормальной.

Остеотомия как метод лечения дегенеративного поясничного сколиоза скудно описана в доступной литературе. R. Ceschinato и соавт. представили успешный опыт применения асимметричной педикулярной субтракционной остеотомии [90]. В зависимости от угла Кобба и параметров сагиттального баланса авторы рассчитали необходимую геометрию клиновидной резекции во фронтальной и сагиттальной плоскостях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При определении хирургической тактики у пациентов с дегенеративным поясничным сколиозом и стенозом позвоночного канала необходимо учитывать клиническую картину и факторы риска нарастания выраженности сколиоза. К данным факторам риска относятся: клиновидная форма межпозвонкового

диска во фронтальной плоскости, низкое прохождение межребневой линии, наличие латерального спондилолистеза, маленький размер тела позвонка L₄, ротация позвонков, угол Кобба >20°, нарушение сагиттального баланса.

При отсутствии факторов риска и наличии только корешковой симптоматики (без выраженной боли в поясничной области) достаточно выполнить только декомпрессию с сохранением дугоотростчатых суставов.

При отсутствии факторов риска прогрессирования сколиоза, наличии корешковой симптоматики и боли в поясничной области целесообразно выполнить декомпрессию в сочетании с короткой фиксацией.

В случае наличия факторов риска прогрессирования сколиоза декомпрессию необходимо дополнить длинной фиксацией, превышающей по длине дугу сколиоза.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Otani K., Kikuchi S., Yabuki S. et al. Lumbar spinal stenosis has a negative impact on quality of life compared with other comorbidities: an epidemiological cross-sectional study of 1862 community-dwelling individuals. *Scientific World Journal* 2013;2013:590652. DOI: 10.1155/2013/590652. PMID: 24453878.
- Glassman S.D., Bridwell K., Dimar J.R. et al. The impact of positive sagittal balance in adult spinal deformity. *Spine (Phila Pa 1976)* 2005;30(18):2024–9. PMID: 16166889.
- Lafage V., Schwab F., Patel A. et al. Pelvic tilt and truncal inclination: two key radiographic parameters in the setting of adults with spinal deformity. *Spine (Phila Pa 1976)* 2009;34(17):E599–606. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181aad219. PMID: 19644319.
- Lim J.K., Kim S.M. Comparison of sagittal spinopelvic alignment between lumbar degenerative spondylolisthesis and degenerative spinal stenosis. *J Korean Neurosurg Soc* 2014;55(6):331–6. DOI: 10.3340/jkns.2014.55.6.331. PMID: 25237428.
- Farrokhi M.R., Haghnegahdar A., Rezaee H., Sharifi Rad M.R. Spinal sagittal balance and spinopelvic parameters in patients with degenerative lumbar spinal stenosis: a comparative study. *Clin Neurol Neurosurg* 2016;151:136–41. DOI: 10.1016/j.clineuro.2016.10.020. PMID: 27842292.
- Ghandhari H., Ameri E., Vahidvari H. et al. The association between intermittent neurogenic claudication and spinal sagittal balance in patients with lumbar canal stenosis: a prospective study. *Shafa Ortho J* 2014;1(1):e48.
- Goto T., Sakai T., Enishi T. et al. Changes of posture and muscle activities in the trunk and legs during walking in patients with lumbar spinal stenosis after decompression surgery. A preliminary report. *Gait Posture* 2017;51:149–52. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2016.10.006. PMID: 27764750.
- Dohzono S., Toyoda H., Takahashi S. et al. Factors associated with improvement in sagittal spinal alignment after microendoscopic laminotomy in patients with lumbar spinal canal stenosis. *J Neurosurg Spine* 2016;25(1):39–45. DOI: 10.3171/2015.12.SPINE15805. PMID: 26967988.
- Shin E.K., Kim C.H., Chung C.K. et al. Sagittal imbalance in patients with lumbar spinal stenosis and outcomes after simple decompression surgery. *Spine J* 2017;17(2):175–82. DOI: 10.1016/j.spinee.2016.08.023. PMID: 27546526.
- Schwab F., Lafage V., Boyce R. et al. Gravity line analysis in adult volunteers: age-related correlation with spinal parameters, pelvic parameters, and foot position. *Spine (Phila Pa 1976)* 2006;31(25):E959–67. DOI: 10.1097/01.brs.0000248126.96737.0f. PMID: 17139212.
- Kim K.T., Suk K.S., Lee S.H. et al. The impact of lumbar lordosis on the adjacent segment disease after posterior lumbar interbody fusion. *J Korean Soc Spine Surg* 2015;22(3):69–74.
- Barrey C., Jund J., Noseda O., Roussouly P. Sagittal balance of the pelvis-spine complex and lumbar degenerative diseases. A comparative study about 85 cases. *Eur Spine J* 2007;16(9):1459–67. DOI: 10.1007/s00586-006-0294-6. PMID: 17211522.
- Schiffman M., Brau S.A., Henderson R., Gimmestad G. Bilateral implantation of low-profile interbody fusion cages: subsidence, lordosis, and fusion analysis. *Spine J* 2003;3(5):377–87. PMID: 14588950.
- Been E., Kalichman L. Lumbar lordosis. *Spine J* 2014;14(1):87–97. DOI: 10.1016/j.spinee.2013.07.464. PMID: 24095099.
- Funao H., Tsuji T., Hosogane N. et al. Comparative study of spinopelvic sagittal alignment between patients with and without degenerative spondylolisthesis. *Eur Spine J* 2012;21(11):2181–7. DOI: 10.1007/s00586-012-2374-0. PMID: 22639298.
- Labelle H., Roussouly P., Berthonnaud E. et al. Spondylolisthesis, pelvic incidence, and spinopelvic balance: a correlation study. *Spine (Phila Pa 1976)* 2004;29(18):2049–54. PMID: 15371707.
- Barrey C., Jund J., Perrin G., Roussouly P. Spinopelvic alignment of patients with degenerative spondylolisthesis. *Neurosurgery* 2007;61(5):981–6. DOI: 10.1227/01.neu.0000303194.02921.30. PMID: 18091275.
- Adams M.A., Hutton W.C. The effect of posture on the role of the apophysal joints in resisting intervertebral compressive forces. *J Bone Joint Surg Br* 1980;62(3):358–62. PMID: 6447702.
- Продан А.И., Хвисьюк А.Н., Перепечай О.А. и др. Влияние позвоночно-тазового баланса и дегенерации позвоночных сегментов на формирование дегенеративного поясничного

- спинального стеноза. Хирургия позвоночника 2010;(1):49–56. [Prodan A.I., Khvisyuk A.N., Perepechay O.A. et al. Effect of spinopelvic balance and spinal degeneration on the development of degenerative lumbar spinal stenosis. *Khirurgiya pozvonochnika = Spine Surgery* 2010;(1):49–56. (In Russ.)].
20. Jentzsch T., Geiger J., Bouaicha S. et al. Increased pelvic incidence may lead to arthritis and sagittal orientation of the facet joints at the lower lumbar spine. *BMC Med Imaging* 2013;13:34. DOI: 10.1186/1471-2342-13-34. PMID: 24188071.
 21. Lv X., Liu Y., Zhou S. et al. Correlations between the feature of sagittal spinopelvic alignment and facet joint degeneration: a retrospective study. *BMC Musculoskeletal Disord* 2016;17(1):341. DOI: 10.1186/s12891-016-1193-6. PMID: 27528107.
 22. Lo X., Zhang B., Liu Y., Dai M. [Correlation of lumbar facet joint degeneration and spine-pelvic sagittal balance (In Chinese)]. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi* 2015;29(8):964–8. PMID: 26677617.
 23. Jentzsch T., Geiger J., König M., Werner C. Hyperlordosis is associated with facet joint pathology at the lower lumbar spine. *Clin Spine Surg* 2017;30(3):129–35. DOI: 10.1097/BSD.0b013e3182aab266. PMID: 28323692.
 24. Продан А.И., Хвисюк А.Н. Корреляция параметров сагиттального позвоночно-тазового баланса и дегенеративных изменений нижнепоясничных позвоночных сегментов. Хирургия позвоночника 2007;(1):44–51. [Prodan A.I., Khvisyuk A.N. Correlation between sagittal spinopelvic balance parameters and degenerative changes of the lower lumbar spinal segments. *Khirurgiya pozvonochnika = Spine Surgery* 2007;(1):44–51. (In Russ.)].
 25. Cho D.Y., Shin M.H., Hur J.W. et al. Sagittal sacropelvic morphology and balance in patients with sacroiliac joint pain following lumbar fusion surgery. *J Korean Neurosurg Soc* 2013;54(3):201–6. DOI: 10.3340/jkns.2013.54.3.201. PMID: 24278648.
 26. Schwab F., Lafage V., Patel A., Farcy J.P. Sagittal plane considerations and the pelvis in the adult patient. *Spine (Phila Pa 1976)* 2009;34(17):1828–33. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181a13c08. PMID: 19644334.
 27. Matsumoto T., Okuda S., Maeno T. et al. Spinopelvic sagittal imbalance as a risk factor for adjacent-segment disease after single-segment posterior lumbar interbody fusion. *J Neurosurg Spine* 2017;26(4):435–40. DOI: 10.3171/2016.9.SPINE16232. PMID: 28059683.
 28. Rothenfluh D.A., Mueller D.A., Rothenfluh E., Min K. Pelvic incidence-lumbar lordosis mismatch predisposes to adjacent segment disease after lumbar spinal fusion. *Eur Spine* J 2015;24(6):1251–8. DOI: 10.1007/s00586-014-3454-0. PMID: 25018033.
 29. Aoki Y., Nakajima A., Takahashi H. et al. Influence of pelvic incidence-lumbar lordosis mismatch on surgical outcomes of short-segment transforaminal lumbar interbody fusion. *BMC Musculoskeletal Disord* 2015;16:213. DOI: 10.1186/s12891-015-0676-1. PMID: 26289077.
 30. Kim K.T., Lee S.H., Huh D.S. et al. Restoration of lumbar lordosis in flat back deformity: optimal degree of correction. *Asian Spine J* 2015;9(3):352–360. DOI: 10.4184/asj.2015.9.3.352. PMID: 26097650.
 31. Smith J.S., Singh M., Klineberg E. et al. Surgical treatment of pathological loss of lumbar lordosis (flatback) in patients with normal sagittal vertical axis achieves similar clinical improvement as surgical treatment of elevated sagittal vertical axis. *J Neurosurg Spine* 2014;21(2):160–70. DOI: 10.3171/2014.3.SPINE13580. PMID: 24766290.
 32. Антонов Г.И., Мануковский В.А., Иванов И.И. и др. Сагиттальный тазово-позвоночный баланс в хирургии дегенеративного поясничного спинального стеноза. Российский нейрохирургический журнал им. А.Л. Поленова 2017;9 (специальный выпуск):19. [Antonov G.I., Manukovskiy V.A., Ivanov I.I. et al. Sagittal pelvic-vertebral balance in surgery of degenerative lumbar spinal stenosis. *Rossiyskiy neyrokhirurgicheskiy zhurnal im. A.L. Polenova = Russian Neurosurgical Journal n. a. A.L. Polenov* 2017;9(special issue):19. (In Russ.)].
 33. Lazennec J., Ramaré S., Arafati N. et al. Sagittal alignment in lumbosacral fusion: relations between radiological parameters and pain. *Eur Spine J* 2000;9(1):47–55. PMID: 10766077.
 34. Duarte F.R., Nogueira de Sousa A.M. S., Raposo F.J. A. et al. Impact of spinopelvic balance on clinical and functional results after instrumented fusion in patients with degenerative spondylolisthesis. *Coluna/Columna* 2013; 12(3):196–9.
 35. Wang S., Niu J., Song D. et al. Analysis of the spino-pelvic parameters for symptomatic adjacent segment degeneration after posterior lumbar interbody fusion. *Int J Clin Exp Med* 2017;10(8):12454–60.
 36. Dohzono S., Toyoda H., Matsumoto T. et al. The influence of preoperative spinal sagittal balance on clinical outcomes after microendoscopic laminotomy in patients with lumbar spinal canal stenosis. *J Neurosurg Spine* 2015;23(1):49–54. DOI: 10.3171/2014.11.SPINE14452. PMID: 25840041.
 37. Hikata T., Watanabe K., Fujita N. et al. Impact of sagittal spinopelvic alignment on clinical outcomes after decompression surgery for lumbar spinal canal stenosis without coronal imbalance. *J Neurosurg Spine* 2015;23(4):451–8. DOI: 10.3171/2015.1.SPINE14642. PMID: 26140404.
 38. Bayerl S.H., Pöhlmann F., Finger T. et al. The sagittal spinal profile type: a principal precondition for surgical decision making in patients with lumbar spinal stenosis. *J Neurosurg Spine* 2017;27(5):552–9. DOI: 10.3171/2017.3.SPINE161269. PMID: 28862573.
 39. Kumar M.N., Baklanov A., Chopin D. Correlation between sagittal plane changes and adjacent segment degeneration following lumbar spine fusion. *Eur Spine J* 2001;10(4):314–9. PMID: 11563617.
 40. Kim M.K., Lee S.H., Kim E.S. et al. The impact of sagittal balance on clinical results after posterior interbody fusion for patients with degenerative spondylolisthesis: a pilot study. *BMC Musculoskeletal Disord* 2011;12:69. DOI: 10.1186/1471-2474-12-69. PMID: 21466688.
 41. Шаповалов В.М., Аверкиев В.А., Кудяшев А.Л. и др. Сагиттальные позвоночно-тазовые взаимоотношения у больных с относительным краниальным смещением одной из головок бедренных костей. *Medline.ru. Российский биомедицинский журнал* 2012;13(2):446–55. [Shapovalov V.M., Averkiev V.A., Kudyashev A.L. et al. Sagittal spinal-pelvic relationships in patients with relative cranial removal of one of the heads femoral. *Medline.ru. Rossiyskiy biomeditsinskiy zhurnal = Medline.ru. Russian Biomedical Journal* 2012;13(2):446–55. (In Russ.)].
 42. Funayama K., Suzuki T., Irei O. Coxarthropathy and lumbago: hip-spine syndrome. *MB Orthop* 1989;15(18):85–93.
 43. Matsuyama Y., Hasegawa Y., Yoshihara H. et al. Hip-spine syndrome: total sagittal alignment of the spine and clinical symptoms in patients with bilateral congenital hip dislocation. *Spine (Phila Pa 1976)* 2004;29(21):2432–7. PMID: 15507807.
 44. Хоминцев В.В., Кудяшев А.Л., Шаповалов В.М., Мироевский Ф.В. Современные подходы к диагностике сочетанной дегенеративно-дистрофической патологии тазобедренного сустава и позвоночника. *Травматология и ортопедия России* 2014;(4):16–26. [Khomintsev V.V., Kudyashev A.L., Shapovalov V.M., Miroevsky F.V. Modern approaches to diagnostics of combined degenerative hip and spine pathology. *Traumatologiya i ortopediya Rossii = Traumatology and Orthopedics of Russia* 2014;(4):16–26. (In Russ.)].
 45. Шаповалов В.М., Аверкиев В.А., Кудяшев А.Л. и др. Восстановление сагиттального позвоночно-тазового баланса у больного с сочетанным поражением тазобедренных суставов и позвоночника (клиническое наблюдение). *Гений ортопедии* 2011;(3):152–7. [Shapovalov V.M., Averkiev V.A., Kudiashev A.L. Restoration of sagittal spine-pelvis balance in a patient with

- combined injury of the hips and the spine (a clinical study). *Genij ortopedii = Genius of Orthopedics* 2011;(3):152–7. (In Russ.).
46. Lee B.H., Moon S.H., Lee H.M. et al. Prevalence of hip pathology in patients over age 50 with spinal conditions requiring surgery. *Indian J Orthop* 2012;46(3):291–6. DOI: 10.4103/0019–5413.96386. PMID: 22719115.
 47. Barrey C., Darnis A. Current strategies for the restoration of adequate lordosis during lumbar fusion. *World J Orthop* 2015;6(1):117–26. DOI: 10.5312/wjo.v6.i1.117. PMID: 25621216.
 48. Lee C.W., Yoon K.J., Ha S.S. Which approach is advantageous to preventing development of adjacent segment disease? Comparative analysis of 3 different lumbar interbody fusion techniques (ALIF, LLIF, and PLIF) in L4–5 spondylolisthesis. *World Neurosurg* 2017;105:612–22. DOI: 10.1016/j.wneu.2017.06.005. PMID: 28602928.
 49. Pavlov P.W., Meijers H., van Limbeek J. et al. Good outcome and restoration of lordosis after anterior lumbar interbody fusion with additional posterior fixation. *Spine (Phila Pa 1976)* 2004;29(17):1893–9. PMID: 15534411.
 50. Barrey C.Y., Boissiere L., D’Acunzi G., Perrin G. One-stage combined lumbo-sacral fusion, by anterior then posterior approach: clinical and radiological results. *Eur Spine J* 2013;22 Suppl 6: S957–64. DOI: 10.1007/s00586-013-3017-9. PMID: 24048651.
 51. Sears W. Posterior lumbar interbody fusion for degenerative spondylolisthesis: restoration of sagittal balance using insert-and-rotate interbody spacers. *Spine J* 2005;5(2):170–9. DOI: 10.1016/j.spinee.2004.05.257. PMID: 15749617.
 52. Wang M.Y., Berven S.H. Lumbar pedicle subtraction osteotomy. *Neurosurgery* 2007;60(2 Suppl 1):ONS140–6. DOI: 10.1227/01.NEU.0000249240.35731.8F. PMID: 17297376.
 53. Schwab F., Blondel B., Chay E. et al. The comprehensive anatomical spinal osteotomy classification. *Neurosurgery* 2014;74(1):112–20. DOI: 10.1227/NEU.0000000000001820. PMID: 24356197.
 54. Videbaek T.S., Bünge C.E., Henriksen M. et al. Sagittal spinal balance after lumbar spinal fusion: the impact of anterior column support results from a randomized clinical trial with an eight- to thirteen-year radiographic follow-up. *Spine (Phila Pa 1976)* 2011;36(3):183–91. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181cc8fce. PMID: 21248589.
 55. Kawakami M., Tamaki T., Ando M. et al. Lumbar sagittal balance influences the clinical outcome after decompression and posterolateral spinal fusion for degenerative lumbar spondylolisthesis. *Spine (Phila Pa 1976)* 2002;27(1):59–64. PMID: 11805637.
 56. Fan G., Zhang H., Guan X. et al. Patient-reported and radiographic outcomes of minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion for degenerative spondylolisthesis with or without reduction: a comparative study. *J Clin Neurosci* 2016;33:111–8. DOI: 10.1016/j.jocn.2016.02.037. PMID: 27443498.
 57. Wegmann K., Gundermann S., Siewe J. et al. Correlation of reduction and clinical outcome in patients with degenerative spondylolisthesis. *Arch Orthop Trauma Surg* 2013;133(12):1639–44. DOI: 10.1007/s00402-013-1857-8. PMID: 24077801.
 58. Omid-Kashani F., Ghayem Hasankhani E., Heidari H. Reduction versus *in situ* fusion in surgical treatment of lumbar degenerative spondylolisthesis. *Int Res Med Sci* 2014;2(6):92–6.
 59. Martiniani M., Lamartina C., Specchia N. “*In situ*” fusion or reduction in high-grade high dysplastic developmental spondylolisthesis (HDSS). *Eur Spine J* 2012;21 Suppl 1:S134–40. DOI: 10.1007/s00586-012-2230-2. PMID: 22415760.
 60. Kotwal S., Pumberger M., Hughes A., Girardi F. Degenerative scoliosis: a review. *HSS J* 2011;7(3):257–64. DOI: 10.1007/s11420-011-9204-5. PMID: 23024623.
 61. Murata Y., Takahashi K., Hanaoka E. et al. Changes in scoliotic curvature and lordotic angle during the early phase of degenerative lumbar scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 2002;27(20):2268–73. DOI: 10.1097/01.BRS.0000029261.05130.1A. PMID: 12394905.
 62. Grubb S.A., Lipscomb H.J., Suh P.B. Results of surgical treatment of painful adult scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 1994;19(14):1619–27. PMID: 7939999.
 63. Moon M.S., Lee K.S., Lim C.I. et al. A clinical study of degenerative lumbar scoliosis. *J Korean Orthop Assoc* 1992;27:946–55.
 64. Aebi M. The adult scoliosis. *Eur Spine J* 2005;14(10):925–48. DOI: 10.1007/s00586-005-1053-9. PMID: 16328223.
 65. Kobayashi T., Atsuta Y., Takemitsu M. et al. A prospective study of *de novo* scoliosis in a community based cohort. *Spine (Phila Pa 1976)* 2006;31(2):178–82. PMID: 16418637.
 66. Rankine J.J., Dickson R.A. Unilateral spondylolysis and the presence of facet joint tropism. *Spine (Phila Pa 1976)* 2010;35(21):E1111–4. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181de8b72. PMID: 20838273.
 67. Bao H., Zhu F., Liu Z. et al. Vertebral rotatory subluxation in degenerative scoliosis: facet joint tropism is related. *Spine (Phila Pa 1976)* 2014;39(26 Spec No.):B45–51. DOI: 10.1097/BRS.0000000000000494. PMID: 25504100.
 68. Poureisa M., Behzadmehr R., Daghighi M.H. et al. Orientation of the facet joints in degenerative rotator lumbar scoliosis: an MR study on 52 patients. *Acta Neurochir (Wien)* 2016;158(3):473–9. DOI: 10.1007/s00701-015-2690-3. PMID: 26782826.
 69. De Vries A.A., Mullender M.G., Pluymakers W.J. et al. Spinal decompression in degenerative lumbar scoliosis. *Eur Spine J* 2010;19(9):1540–4. DOI: 10.1007/s00586-010-1368-z. PMID: 20300782.
 70. Faraj S.S., Holewijn R.M., van Hooff M.L. et al. *De novo* degenerative lumbar scoliosis: a systematic review of prognostic factors for curve progression. *Eur Spine J* 2016;25(8):2347–58. DOI: 10.1007/s00586-016-4619-9. PMID: 27220970.
 71. Jimbo S., Kobayashi T., Aono K. et al. Epidemiology of degenerative lumbar scoliosis a community-based cohort study. *Spine (Phila Pa 1976)* 2012;37(20):1763–70. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3182575eaa. PMID: 22487710.
 72. Minamide A., Yoshida M., Iwahashi H. et al. Minimally invasive decompression surgery for lumbar spinal stenosis with degenerative scoliosis: predictive factors of radiographic and clinical outcomes. *J Orthop Sci* 2017;22(3):377–83. DOI: 10.1016/j.jos.2016.12.022. PMID: 28161236.
 73. Yang C., Yang M., Chen Y. et al. Radiographic parameters in adult degenerative scoliosis and different parameters between sagittal balanced and imbalanced ADS patients. *Medicine (Baltimore)* 2015;94(29):e1198. DOI: 10.1097/MD.0000000000001198. PMID: 26200633.
 74. Matsumura A., Namikawa T., Terai H. et al. The influence of approach side on facet preservation in microscopic bilateral decompression *via* a unilateral approach for degenerative lumbar scoliosis. Clinical article. *J Neurosurg Spine* 2010;13(6):758–65. DOI: 10.3171/2010.5.SPINE091001. PMID: 21121755.
 75. Yamada K., Matsuda H., Nabeta M. et al. Clinical outcomes of microscopic decompression for degenerative lumbar foraminal stenosis: a comparison between patients with and without degenerative lumbar scoliosis. *Eur Spine J* 2011;20(6):947–53. DOI: 10.1007/s00586-010-1597-1. PMID: 20953638.
 76. Tsutsui S., Kagotani R., Yamada H. et al. Can decompression surgery relieve low back pain in patients with lumbar spinal stenosis combined with degenerative lumbar scoliosis? *Eur Spine J* 2013;22(9):2010–4. DOI: 10.1007/s00586-013-2786-5. PMID: 23612901.
 77. Hosogane N., Watanabe K., Kono H. et al. Curve progression after decompression surgery in patients with

- mild degenerative scoliosis. Clinical article. J Neurosurg Spine 2013;18(4):321–6. DOI: 10.3171/2013.1.SPINE12426. PMID: 23373563.
78. Kato M., Namikawa T., Matsumura A. et al. Radiographic risk factors of reoperation following minimally invasive decompression for lumbar canal stenosis associated with degenerative scoliosis and spondylolisthesis. Global Spine J 2017;7(6):498–505. DOI: 10.1177/2192568217699192. PMID: 28894678.
 79. Wang N., Wang D., Wang F. et al. Evaluation of degenerative lumbar scoliosis after short segment decompression and fusion. Medicine (Baltimore) 2015;94(47):e1824. DOI: 10.1097/MD.0000000000001824. PMID: 26632679.
 80. Lee S.E., Jahng T.A., Kim H.J. Decompression and nonfusion dynamic stabilization for spinal stenosis with degenerative lumbar scoliosis: clinical article. J Neurosurg Spine 2014;21(4):585–94. DOI: 10.3171/2014.6.SPINE13190. PMID: 25084033.
 81. Phan K., Xu J., Maharaj M.M. Outcomes of short fusion versus long fusion for adult degenerative scoliosis: a systematic review and meta-analysis. Orthop Surg 2017;9(4):342–9. DOI: 10.1111/os.12357. PMID: 29178306.
 82. Lee K.Y., Kim M.W., Im C.S., Jung Y.H. Radiologic and clinical courses of degenerative lumbar scoliosis (10°–25°) after a short-segment fusion. Asian Spine J 2017;11(4):570–9. DOI: 10.4184/asj.2017.11.4.570. PMID: 28874975.
 83. Cho K.J., Suk S.I., Park S.R. et al. Risk factors of sagittal decompensation after long posterior instrumentation and fusion for degenerative lumbar scoliosis. Spine (Phila Pa 1976) 2010;35(17):1595–601. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181bdad89. PMID: 20386505.
 84. Zhu F., Bao H., Qiu Y. et al. [Restoration of the difference value of pelvic incidence and lumbar lordosis in degenerativescoliosis patients: its influence in maintaining sagittal profile and improving quality of life (In Chinese)]. Zhonghua Wai Ke Za Zhi 2015;53(2):110–5. PMID: 25908283.
 85. Zhang H.C., Zhang Z.F., Wang Z.H. et al. Optimal pelvic incidence minus lumbar lordosis mismatch after long posterior instrumentation and fusion for adult degenerative scoliosis. Orthop Surg 2017;9(3):304–10. DOI: 10.1111/os.12343. PMID: 28960816.
 86. Li F.C., Chen Q.X., Chen W.S. et al. Posterolateral lumbar fusion versus transforaminal lumbar interbody fusion for the treatment of degenerative lumbar scoliosis. J Clin Neurosci 2013;20(9):1241–5. DOI: 10.1016/j.jocn.2012.10.031. PMID: 23827174.
 87. Zhu Y., Wang B., Wang H. et al. Long-term clinical outcomes of selective segmental transforaminal lumbar interbody fusion combined with posterior spinal fusion for degenerative lumbar scoliosis. ANZ J Surg 2014;84(10):781–5. DOI: 10.1111/ans.12711. PMID: 24913305.
 88. Dangelmajer S., Zadnik P.L., Rodriguez S.T. et al. Minimally invasive spine surgery for adult degenerative lumbar scoliosis. Neurosurg Focus 2014;36(5):E7. DOI: 10.3171/2014.3.FOCUS144. PMID: 24785489.
 89. Dakwar E., Cardona R.F., Smith D.A., Uribe J.S. Early outcomes and safety of the minimally invasive, lateral retroperitoneal transpsoas approach for adult degenerative scoliosis. Neurosurg Focus 2010;28(3):E8. DOI: 10.3171/2010.1.FOCUS09282. PMID: 20192668.
 90. Cecchinato R., Berjano P., Aguirre M., Lamartina C. Asymmetrical pedicle subtraction osteotomy in the lumbar spine in combined coronal and sagittal imbalance. Eur Spine J 2015;24 Suppl 1: S66–71. DOI: 10.1007/s00586-014-3669-0. PMID: 25391627.

Вклад авторов

А.С. Никитин: разработка дизайна исследования, обзор публикаций по теме статьи, написание текста статьи;

А.А. Гринь: разработка дизайна исследования, обзор публикаций по теме статьи, написание текста статьи.

Authors' contributions

A.S. Nikitin: developing the research design, reviewing of publications of the article's theme, article writing;

A.A. Grin': developing the research design, reviewing of publications of the article's theme, article writing.

ORCID авторов / ORCID of authors

А.С. Никитин / A.S. Nikitin: <https://orcid.org/0000-0002-1755-1752>

А.А. Гринь / A.A. Grin': <https://orcid.org/0000-0003-3515-8329>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

Статья поступила: 25.04.2018. **Принята к публикации:** 04.07.2018.

Article received: 25.04.2018. **Accepted for publication:** 04.07.2018.