



# ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ ПОСТТРАВМАТИЧЕСКИХ КИФОЗОВ ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА: КОМПЕНСАТОРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ И ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ САГИТТАЛЬНОГО БАЛАНСА

К.О. Борzych, В.В. Рерих

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

**Цель исследования.** Анализ клинико-рентгенологических результатов этапных оперативных вмешательств при лечении пациентов с посттравматическими кифозами поясничного отдела позвоночника и выявление механизмов компенсации деформации.

**Материал и методы.** Исследованы данные, полученные из историй болезни 42 пациентов, оперированных по поводу клинически значимых посттравматических кифозов на уровне L<sub>3</sub> и L<sub>4</sub> позвонков. Пациентам проведены этапные хирургические вмешательства в одну хирургическую сессию. Оценены демографические данные и рентгенологические результаты оперативного лечения.

**Результаты.** В результате оперативных вмешательств локальный кифоз в среднем корригирован на  $29,66^\circ \pm 13,83^\circ$  (с  $15,48^\circ \pm 13,04^\circ$  до  $-14,19^\circ \pm 8,85^\circ$ ). После исправления посттравматического кифоза выявлены статистически значимые изменения показателей сагиттальных изгибов позвоночника: увеличение грудного кифоза и поясничного лордоза, отмечены изменения показателей позвоночно-тазового баланса РТ и SS с р-уровнем  $<0,05$ , а также глобального угла ( $p < 0,001$ ). По шкале GAP отмечен переход 26 (61,9 %) пациентов в более сбалансированную категорию. Выявлена корреляция ( $r = 0,45$ ;  $p < 0,05$ ) между показателями локального кифоза и показателями шкалы GAP до операции. По сумме этапов оперативного вмешательства продолжительность операции составила 318 [150; 600] мин, кровопотеря — 677 [150; 1800] мл. У 9 (21,4 %) пациентов отмечено 12 интра- и послеоперационных осложнений.

**Заключение.** Основными компенсаторными механизмами посттравматических деформаций с вершиной на уровне L<sub>3</sub> и L<sub>4</sub> являются уменьшение грудного кифоза, лордозирование грудопоясничной области и ретроверсия таза. Этапное оперативное лечение при посттравматических деформациях позвоночника значимо улучшает показатели позвоночно-тазового и глобального сагиттального баланса и сагиттальный профиль пациентов в 61,9 % случаев, сопровождается умеренными длительностью операции и интраоперационной кровопотерей и приемлемым количеством осложнений.

**Ключевые слова:** посттравматические кифозы; сагиттальный баланс; этапные операции.

Для цитирования: Борzych К.О., Рерих В.В. Хирургическое лечение посттравматических кифозов поясничного отдела позвоночника: компенсаторные изменения и динамика показателей сагиттального баланса // Хирургия позвоночника. 2024. Т. 21. № 4. С. 34–45.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2024.4.34-45>.

## SURGICAL TREATMENT OF POSTTRAUMATIC KYPHOSIS OF THE LUMBAR SPINE: COMPENSATORY CHANGES AND DYNAMICS OF SAGITTAL BALANCE

K.O. Borzykh, V.V. Rerikh

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

**Objective.** To analyze clinical and radiological results of staged surgical interventions in the treatment of patients with posttraumatic kyphosis of the lumbar spine and to identify a mechanism of deformity compensation.

**Material and Methods.** The data obtained from the case histories of 42 patients operated on for clinically significant posttraumatic kyphosis at the L3 and L4 vertebral levels were studied. Patients underwent staged surgical interventions in one surgical session. Demographic data and radiological results of surgical treatment were evaluated.

**Results.** As a result of surgical interventions, local kyphosis was corrected on average by  $29.66^\circ \pm 13.83^\circ$  from  $15.48^\circ \pm 13.04^\circ$  to  $-14.19^\circ \pm 8.85^\circ$ . After correction of posttraumatic kyphosis, statistically significant changes in the parameters of sagittal curvatures of the spine were revealed: an increase in thoracic kyphosis (TK) and lumbar lordosis (LL), changes in the parameters of the spinopelvic balance PT and SS with a p-level  $< 0.05$ , as well as in the global angle ( $p < 0.001$ ) were noted. According to the GAP scale, 26 (61.9 %) patients moved to a more balanced category. A correlation ( $r = 0.45$ ;  $p < 0.05$ ) was found between the indices of local kyphosis and the GAP scores before surgery. The total duration of all surgical stages was 318 [150; 600] minutes, and blood loss was 677 [150; 1800] ml. In 9 (21.4 %) patients, 12 intra- and postoperative complications were noted.

**Conclusion.** The main compensatory mechanisms of posttraumatic deformities with the apex at L3 and L4 vertebrae are a decrease in thoracic kyphosis, the thoracolumbar lordosis and pelvic retroversion. Staged surgical treatment for posttraumatic spinal deformities significantly improves the parameters of the spinopelvic and global sagittal balance. It ameliorated the sagittal profile of patients in 61.9 % of cases and was accompanied by moderate duration of surgery and intraoperative blood loss and an acceptable number of complications.

**Key Words:** posttraumatic kyphosis; sagittal balance; staged operations.

Please cite this paper as: Borzykh KO, Rerikh VV. Surgical treatment of posttraumatic kyphosis of the lumbar spine: compensatory changes and dynamics of sagittal balance. Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2024;21(4):34–45. In Russian.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2024.4.34-45>.

По формулировке консенсуса экспертов [1], посттравматические деформации – это «состояние, при котором травма позвоночника приводит к деформации в любой плоскости и вызывает боль и нарушение функций с неврологическим дефицитом или без него».

Посттравматические деформации поясничного отдела позвоночника представлены кифозами на фоне посттравматических изменений L<sub>3</sub> и L<sub>4</sub> позвонков, поскольку из всех пяти поясничных позвонков L<sub>1</sub> и L<sub>2</sub> функционально относятся к переходному грудопоясничному сочленению, переломы L<sub>5</sub> и их последствия встречаются редко и в данном исследовании не рассматриваются. Травмы нижних поясничных позвонков встречаются значительно реже, чем повреждения области грудопоясничного перехода и грудного отдела позвоночника. Так, по данным Magerl et al. [2], переломы L<sub>3</sub> и L<sub>4</sub> позвонков составляют 7,8 и 4,0 % повреждений грудных и поясничных позвонков. Однако клинически значимые посттравматические деформации на поясничном уровне представлены большими значениями: по нашим данным, поясничные кифозы составляют 22,0 % посттравматических деформаций грудных и поясничных позвонков.

Поясничный лордоз является базовым параметром, формирующим сагиттальный баланс туловища. Ригидные локальные посттравматические кифотические деформации изменяют величину поясничного лордоза, что сопровождается компенсаторными изменениями позвоночника в парагидббарных отделах и отражается на позвоночно-тазовом балансе туловища. В свою очередь, изменения

основных параметров осанки проявляются нарушениями глобального баланса – неблагоприятными и энергетически невыгодными, выходящими за пределы конуса экономии [3, 4].

Показатели компенсаторных изменений, характерных для деформаций поясничного отдела на почве дегенеративных заболеваний позвоночника, хорошо изучены и являются критериями оценки выраженности этих деформаций. Так, модификаторы баланса классификации SRS-Schwab (PT, SVA, PI-LL) являются отражением компенсаторных изменений и связаны с показателями качества жизни пациентов, однако это усредненные абсолютные параметры [5]. В литературе известны шкалы оценки многофакторных относительных показателей гармоничного распределения поясничного лордоза, антеверсии таза и глобального баланса, индивидуализированных по соответствующим показателям «идеального» позвоночника, это, например, GAP – Global Alignment and Proportion [6] (прил.). Подобные шкалы и их отдельные компоненты, по нашему мнению, могут быть использованы и при оценке приобретенных деформаций недегенеративного характера, в том числе посттравматических, не только для формирования показаний для хирургической реконструкции, но и для оценки достигнутой коррекции и прогнозирования вероятности механических осложнений [7].

Большинство посттравматических кифотических деформаций поясничного отдела позвоночника являются последствиями повреждений типов A3 и A4 (по AOSpine) и проявляются дефицитом передней высоты позвоночного сегмента, а иногда клиниче-

ски значимым сужением позвоночного канала за счет смещенных фрагментов краниодорсальной части тела, что является субстратом неврологических нарушений. Ошибки и осложнения при хирургическом лечении тяжелых травм поясничных позвонков в остром периоде также являются причинами возникновения посттравматических кифозов. Наиболее часто встречаются рецидивы посттравматического кифоза вследствие несостоятельности задней транспедикулярной фиксации, значительно реже – псевдоартрозы вследствие несостоятельной вентральной фиксации. Основными причинами возникновения таких осложнений являются переоценка возможностей задней короткосегментарной транспедикулярной фиксации при грубых травматических разрушениях тел поясничных позвонков и смежных дисков, особенно у молодых пациентов, а также необоснованные при неосложненной травме ламинэктомии, критически дестабилизирующие поврежденный позвоночный сегмент.

Реконструктивная хирургия поясничных посттравматических кифозов заключается в восстановлении анатомических параметров передней колонны позвоночника (увеличение передней высоты сегмента) и стабильной циркулярной фиксации, последовательно проведенных в одну хирургическую сессию операций вентрального корригирующего спондилодеза (по показаниям передней декомпрессии) и транспедикулярной фиксации. В силу анатомических особенностей на вершине поясничного лордоза такая схема лечения безальтернативна.

Предполагаем, что после корригирующего вмешательства по пово-

ду посттравматической деформации, при исключении фактора локального кифоза, возможно зарегистрировать изменение параметров сагиттальных изгибов позвоночника, позвоночно-тазового и глобального баланса, определяющих компенсаторные изменения посттравматического позвоночника.

Цель исследования – анализ клинико-рентгенологических результатов этапных оперативных вмешательств при лечении пациентов с посттравматическими кифозами поясничного отдела позвоночника и выявление механизма компенсации деформации.

Дизайн исследования: ретроспективное моноцентровое.

## Материал и методы

Материалом исследования послужили данные историй болезни 42 пациентов (22 женщин, 20 мужчин) с клинически значимыми посттравматическими деформациями, оперированных с 2017 г. по декабрь 2022 г.

В исследование включены пациенты с посттравматической кифотической деформацией на уровне  $L_3$  и  $L_4$  позвонков. Критерий исключения: неспособность к самостоятельному удержанию позы в положении стоя.

Всем пациентам выполнили одномоментные (в одну хирургическую сессию) этапные (2- и 3-этапные) оперативные вмешательства. Коррекцию кифотической деформации на уровнях  $L_3$  и  $L_4$  проводили методом вентрального корригирующего спондилодеза из левостороннего ретроперитонеального доступа. Особенностью вентрального хирургического вмешательства является положение пациента на операционном столе на спине. После резекции тела поясничного позвонка со смежными дисками проводят коррекцию кифоза и реконструкцию поясничного лордоза дозированной деформацией (экстензией) хирургического стола с вершиной на уровне кифоза под рентгенологическим контролем до должных величин. Замещение полученного дефекта проводят имплантатом в сочетании



**Рис. 1**

Рентгенограммы и МСКТ пациента Р., 45 лет: **а** – посттравматический кифоз  $L_3$ – $L_4$  ( $3^\circ$ ) вследствие перенесенного взрывного перелома (А4 по AOSpine) тела  $L_4$  позвонка, посттравматический стеноз позвоночного канала, радикулопатия  $L_4$  с обеих сторон; **б** – результат 2-этапного оперативного вмешательства в одну хирургическую сессию (передняя декомпрессия, вентральный корригирующий спондилодез  $L_3$ – $L_5$  и транспедикулярная фиксация  $L_3$ – $L_5$ ), достигнуты коррекция кифоза, восстановление поясничного лордоза и клиренс позвоночного канала; регресс неврологической симптоматики

с костной аутопластикой в положении коррекции деформации; при наличии показаний осуществляется передняя декомпрессия корешков конского хвоста путем резекции краниодорсальной части тела позвонка. В ту же хирургическую сессию вторым этапом проводят транспедикулярную фиксацию соответствующего уровня, при необходимости – дополнительную коррекцию остаточной деформации (рис. 1).

В случае препятствий для коррекции деформации в виде задних костных и костно-металлических блоков дополнительным этапом проводили мобилизующие вмешательства в виде фасетэктомии или удаления металлоконструкций (рис. 2).

Период наблюдения – весь срок госпитализации пациентов. Оценивали рентгенологические и клинические параметры до и после операции (возраст, пол, количество этапов операции, суммарную продолжительность эта-

пов операции, кровопотерю). Также по шкале Clavien – Dindo [8] оценивали осложнения (учет любого отклонения от нормального течения послеоперационного периода).

Анализ рентгенологических данных на основании профилейной рентгенографии позвоночника от черепа до средней трети бедер стоя в обычной позе в двух проекциях включал исследование параметров сагиттальных изгибов позвоночника, позвоночно-тазового и глобального сагиттального баланса.

Сагиттальный контур позвоночника оценивали по следующим параметрам: локальный кифоз (LK) на уровне посттравматической деформации по Cobb; грудной кифоз (ТК)  $Th_4$ – $Th_{12}$ ; грудопоясничный угол (TL)  $Th_1$ – $L_2$ ; поясничный лордоз (LL)  $L_1$ – $S_1$ . Нижнепоясничный лордоз (LowLL) измеряли следующим образом: в случае посттравматического кифоза на уровне  $L_2$ – $L_3$  позвонков – от верхней замыкательной пластин-



**Рис. 2**

Рентгенограммы и МСКТ пациентки М., 40 лет: **а** – посттравматический кифоз  $L_2-L_4$  ( $40^\circ$ ) после ранее проведенной операции типа VCR, псевдоартроз, несостоятельность транспедикулярной конструкции; **б** – результат 3-этапного вмешательства в одну хирургическую сессию (удаление транспедикулярной конструкции, установка винтов в  $L_1-L_2-L_4$  позвонки; удаление телескопического имплантата, коррекция кифоза и вентральный спондилодез сетчатым имплантатом и костными аутоотрансплантатами; монтаж транспедикулярной конструкции, дополнительная коррекция кифоза и задний спондилодез  $L_2-L_4$ ); достигнута коррекция кифоза, восстановлен поясничный лордоз; циркулярная фиксация  $L_1-L_2-L_4$

ки  $L_4$  до  $S_1$ ; в случае кифоза на  $L_3-L_4$  – от верхней замыкательной пластинки  $L_3$  до  $S_1$ . Позвоночно-тазовый баланс оценивали по стандартным PI, PT, SS, PI-LL, глобальный баланс – по данным измерения SVA, глобального угла (GT) и вертикального угла  $C_7$  ( $C_7VT$ );  $GT = PT + C_7VT$  [9].

У всех пациентов проанализировали статус сагиттального профиля и пропорциональность в соответствии со шкалой GAP [6] по сумме баллов ее четырех компонентов (RPV – положение таза, RLL – поясничный лордоз, LDI – индекс распределения лордоза, RSA – глобальное позвоночно-тазовое отношение) и поправки на возраст: 0–2 – пропорциональный; 3–6 – умеренно диспропорциональный; больше 7 – грубо диспропорциональный.

Исследовали корреляцию величины локального кифоза и значений GAP до и после операции.

*Статистические методы*

Описания показателей представлены в виде медианы [первый квартиль; третий квартиль] (МЕД [Q1; Q3]) для непрерывных данных; количества событий и частоты – для бинарных и категориальных данных. Большинство непрерывных показателей (82 %) были распределены ненормально согласно критерию Шапиро – Уилка и гетероскедастично – по F-критерию Фишера, в итоге для проверки гипотез о равенстве числовых характеристик выборочных распределений непрерывных показателей в сравниваемых группах использовали непараметрический U-критерий Манна – Уитни. Сравнение непрерывных показателей до и после вмешательства проводили критерием Вилкоксона. Для исследования парных связей рассчитывали коэффициент корреляции Спирмена и строили диаграммы рассеяния. Бинарные и категориальные показате-

ли между группами сравнивали по точному критерию Фишера, до и после вмешательства – по критерию Мак-Немара. Использовали только двусторонние тесты. Коррекцию множественных сравнений осуществляли методом Бенджамини – Хохберга. Проверку статистических гипотез проводили при критическом уровне значимости  $p = 0,05$ , то есть различие считали статистически значимым, если  $p < 0,05$ . Статистические расчеты проводили в IDE RStudio (версия 2023.09.1 Build 494, США) на языке R (версия 4.1.3, Австрия).

## Результаты

Исследованная группа пациентов состояла из 20 женщин и 22 мужчин, средний возраст  $45,2 \pm 14,6$  года (от 23 до 78 лет). Давность травмы – от 6 до 38 мес.; у семи пациентов отмечен рецидив посттравматической деформации после неудачных предшествующих оперативных вмешательств в остром периоде травмы. Неврологическая симптоматика выявлена у 12 (28 %) пациентов и представлена радикулопатиями ( $n = 6$ ; 14 %) и компрессионными полирадикулярными синдромами ( $n = 6$ ; 14 %).

*Оперативные вмешательства.* Всем 42 пациентам в одну хирургическую сессию провели вмешательства из комбинированных доступов: 29 – 2-этапных (переднезадних), 13 – 3-этапных (заднепереднезадних), включавших в общей сложности 97 этапов. Шести пациентам с компрессионными полирадикулярными синдромами в ходе вентрального этапа выполнили переднюю декомпрессию. Среднее суммарное время всех этапов по изучаемой группе составило 318 мин [150; 600]. Средняя суммарная кровопотеря всех этапов – 677 мл [150; 1800]. Кровопотеря свыше 30 % ОЦК отмечена у 7 (16 %) пациентов и связана с передней декомпрессией.

*Рентгенологические показатели до и после операции.* Коррекция кифотической посттравматической деформации на уровне  $L_3$  и  $L_4$  позвонков составила  $29,66^\circ \pm 13,83^\circ$ , кифоз кор-

Таблица 1

Сравнение показателей сагиттальных изгибов позвоночника, глобального и позвоночно-тазового баланса до и после операции (n = 42)

| Показатель                                   | До операции                                           | После операции                                        | Различие<br>МЕД [95 % ДИ]<br>СРС [95 % ДИ]  | Критерий<br>Вилкоксона,<br>р-уровень |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------|
|                                              | СРЕД ± СО<br>(МИН – МАКС)                             | СРЕД ± СО<br>(МИН – МАКС)                             |                                             |                                      |
| Показатели сагиттальных изгибов позвоночника |                                                       |                                                       |                                             |                                      |
| LK, град.                                    | 10,50 [6,00; 22,00]<br>15,48 ± 13,04<br>(0–60)        | -13,50 [-20,00; -10,00]<br>-14,19 ± 8,85<br>(-32–9)   | 29,00 [28,00; 29,50]<br>2,66 [2,07; 3,25]   | <0,001                               |
| TK, град.                                    | 26,00 [16,25; 37,75]<br>27,38 ± 16,22<br>(-18–55)     | 30,00 [22,25; 40,00]<br>31,43 ± 13,06<br>(6–61)       | -4,00 [-4,50; -3,50]<br>-0,27 [-0,70; 0,15] | 0,011                                |
| TL, град.                                    | 4,00 [2,00; 13,75]<br>5,88 ± 11,39<br>(-27–28)        | 5,00 [1,00; 11,00]<br>6,21 ± 9,56<br>(-11–36)         | -0,50 [-1,00; -0,50]<br>-0,03 [-0,46; 0,40] | 0,602                                |
| LL, град.                                    | -39,50 [-49,50; -28,00]<br>-38,36 ± 17,36<br>(-68–16) | -47,00 [-57,75; -42,25]<br>-49,29 ± 11,28<br>(-76–30) | 9,50 [9,00; 9,50]<br>0,75 [0,30; 1,19]      | <0,001                               |
| LowLL, град.                                 | -44,50 [-49,5; -31,5]<br>-40,38 ± 14,21<br>(-64–0)    | -38,50 [-50,00; -34,25]<br>-39,21 ± 18,73<br>(-67–60) | 1,50 [1,00; 2,00]<br>-0,07 [-0,50; 0,36]    | 0,508                                |
| Показатели глобального сагиттального баланса |                                                       |                                                       |                                             |                                      |
| SVA, мм                                      | 1,25 [-0,92; 3,42]<br>3,44 ± 9,63<br>(-6–50)          | 0,00 [-1,95; 2,48]<br>1,21 ± 8,23<br>(-6–50)          | 1,45 [1,25; 1,65]<br>0,25 [-0,18; 0,68]     | 0,072                                |
| GT, град.                                    | 17,00 [11,00; 22,00]<br>17,88 ± 11,24<br>(-3–55)      | 14,00 [8,00; 18,00]<br>12,79 ± 6,81<br>(0–28)         | 4,00 [3,50; 4,00]<br>0,55 [0,11; 0,98]      | <0,001                               |
| C7VT, град.                                  | 1,00 [-1,00; 4,00]<br>1,74 ± 5,25<br>(-9–19)          | -1,00 [-3,00; 2,00]<br>-0,31 ± 4,23<br>(-9–15)        | 2,00 [2,00; 2,00]<br>0,43 [0,00; 0,86]      | 0,021                                |
| Показатели позвоночно-тазового баланса       |                                                       |                                                       |                                             |                                      |
| PT, град.                                    | 17,00 [12,00; 20,00]<br>16,71 ± 7,74<br>(4–36)        | 14,50 [7,25; 17,75]<br>13,33 ± 7,08<br>(0–31)         | 2,00 [2,00; 2,50]<br>0,46 [0,02; 0,89]      | 0,006                                |
| SS, град.                                    | 33,50 [27,50; 38,00]<br>33,31 ± 9,24<br>(13–56)       | 37,00 [31,25; 40,75]<br>36,79 ± 7,80<br>(22–55)       | -2,50 [-3,00; -2,00]<br>-0,41 [-0,84; 0,03] | 0,011                                |
| PI-LL, град.                                 | 9,00 [0,25; 19,00]<br>11,38 ± 16,19<br>(-17–58)       | -1,00 [-5,00; 8,00]<br>0,76 ± 9,47<br>(-23–17)        | 9,00 [9,00; 10,00]<br>0,80 [0,36; 1,25]     | <0,001                               |

ригирован в среднем с  $15,48^{\circ} \pm 13,04^{\circ}$  до  $-14,19^{\circ} \pm 8,85^{\circ}$ . После коррекции деформации отмечено статистически значимое увеличение LL, TK, при этом изменения LowLL не было. Послеоперационные изменения позвоночно-тазового баланса отмечены в виде изменения ( $p < 0,05$ ) по показателям РТ и SS. После операции выявлены статистиче-

ски значимые изменения глобального баланса: GT и C<sub>7</sub>VT; достоверных изменений SVA не было (табл. 2).

Корреляция степени коррекции локального кифоза получена с показателями изменения грудного кифоза (ΔTK), поясничного лордоза (ΔLL), груднопоясничного угла (ΔTL), глобального угла ΔGT, а также с показа-

телями позвоночно-тазового баланса ΔРТ, ΔSS и ΔPI-LL ( $p < 0,001$ ; табл. 2).

*Показатели GAP.* Средние показатели баллов по шкале GAP до и после коррекции груднопоясничного кифоза статистически значимо уменьшились с 5 [3,00; 7,75] до 1 [0,00; 3,00] балла соответственно ( $p < 0,001$ ). При этом статистически значимые изменения

Таблица 2

Корреляции величины коррекции локального кифоза ( $LK_{preOP} - LK_{postOP} = 29,66^\circ \pm 13,83^\circ$ ) и разницы рентгенометрических параметров до и после операции ( $n = 42$ )

| Показатель               | PreOP – PostOP<br>СРЕД ± СО<br>(МИН – МАКС)            | Коэффициент<br>корреляции<br>Спирмена<br>с коррекцией LK (r) | Уровень<br>значимости<br>корреляции (p) |
|--------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| TK, град.                | -4,00 [-9,75; 3,00]<br>-4,05 ± 9,23<br>(-24,00–14,00)  | 0,79                                                         | <0,001                                  |
| TL, град.                | 0,00 [-5,00; 3,75]<br>-0,33 ± 10,94<br>(-34,00–26,00)  | 0,51                                                         | <0,001                                  |
| LL, град.                | 9,00 [3,00; 15,00]<br>10,93 ± 12,03<br>(-10,00–46,00)  | 0,73                                                         | <0,001                                  |
| Low LL, град.            | 3,50 [-9,00; 8,75]<br>-1,17 ± 23,45<br>(-122,00–36,00) | 0,24                                                         | 0,127                                   |
| SVA, мм                  | 1,50 [-1,82; 4,45]<br>2,22 ± 11,66<br>(-39,00–48,80)   | 0,31                                                         | 0,047                                   |
| GT, град.                | 3,00 [0,00; 8,50]<br>5,10 ± 8,89<br>(-6,00–35,00)      | 0,69                                                         | <0,001                                  |
| C <sub>7</sub> VT, град. | 1,50 [-1,00; 5,00]<br>2,05 ± 5,65<br>(-11,00–18,00)    | 0,39                                                         | 0,010                                   |
| PT, град.                | 1,00 [-1,00; 5,50]<br>3,38 ± 6,71<br>(-7,00–20,00)     | 0,62                                                         | <0,001                                  |
| SS, град.                | -1,00 [-8,00; 1,00]<br>-3,56 ± 7,62<br>(-21,00–12,00)  | 0,55                                                         | <0,001                                  |
| PI-LL, град.             | 9,00 [1,00; 15,00]<br>10,62 ± 12,43<br>(-8,00–47,00)   | 0,65                                                         | <0,001                                  |

отмечены в показателях, связанных с оптимизацией поясничного лордоза RLL и LDI и глобального баланса RSA (табл. 3).

Послеоперационный переход между категориями «пропорциональный», «умеренно непропорциональный», «грубо диспропорциональный» отмечен в сторону уменьшения степени диспропорциональности: до операции «пропорциональных» пациентов было 8 (19,0 %), после операции без признаков дисбаланса – 28 (66,7 %). У пациен-

тов с умеренно ( $n = 20$ ; 47,6 %) и грубо ( $n = 14$ ; 33,3 %) диспропорциональными показателями GAP в послеоперационном периоде отмечен переход 26 (61,9 %) пациентов в более сбалансированную категорию. Динамика перехода между градациями GAP отражена на диаграмме сопряженности (рис. 3).

**Корреляции локального кифоза и показателей GAP.** При исследовании связи между показателями LK и показателями GAP до операции найдена значимая ( $p < 0,05$ ) положитель-

ная умеренной силы ( $r = 0,45$ ) корреляция (рис. 4).

**Осложнения.** По шкале Clavien – Dindo у 9 (21,4 %) пациентов отмечено 12 осложнений (1 интраоперационное, 11 послеоперационных; табл. 4). У трех пациентов было более одного осложнения.

Класс осложнений 3b (осложнение, требующее оперативного вмешательства под общим обезболиванием) представлен тремя случаями ранней глубокой ИОХВ, одно интраоперационное осложнение представлено забрюшинным мочевым затеком вследствие интраоперационного (непреднамеренного) повреждения левого мочеточника. Пациенту по срочным показаниям провели нефростомию и дренирование забрюшинного пространства, затем – плановое реконструктивное оперативное лечение в специализированном урологическом стационаре. ИОХВ ран дорсального доступа потребовали этапных ревизионных вмешательств с использованием метода вакуумного закрытия ран, транспедикулярные имплантаты сохранили во всех случаях.

## Обсуждение

Фокус внимания в профильной литературе, посвященной травмам и последствиям травм позвоночника, объективно и закономерно смещен в сторону исследований, отражающих вопросы биомеханики, диагностики и лечения повреждений груднопоясничной области в силу их высокой представительности и практического значения для здравоохранения. Проблемы повреждений нижнепоясничных позвонков в литературе освещены более скромно и в основном представляют тактику лечения переломов позвонков в остром периоде травмы [10, 11]. Биомеханика, хирургическое лечение посттравматических деформаций поясничного отдела позвоночника и его результаты представлены как фрагменты исследований посттравматических деформаций грудного и поясничного отделов позвоночника в целом [12–14].

Травмы поясничных позвонков и их последствия в виде посттравма-

Таблица 3

Показатели GAP (n = 42)

| Показатель                       | До операции                          | После операции                   | p-уровень |
|----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|-----------|
| GAP, баллы                       | 5 [3; 7,75]<br>5,52 ± 3,44<br>(0—13) | 1 [0; 3]<br>1,93 ± 2,10<br>(0—7) | <0,001    |
| RPV, значения                    |                                      |                                  |           |
| Антеверсия                       | 0 — 22 (52,4 %)                      | 0 — 29 (69,0 %)                  | 0,245     |
| Оптимальное положение            | 1 — 4 (9,5 %)                        | 1 — 6 (14,3 %)                   |           |
| Умеренная ретроверсия            | 2 — 13 (31,0 %)                      | 2 — 7 (16,7 %)                   |           |
| Грубая ретроверсия               | 3 — 3 (7,1 %)                        | 3 — 0                            |           |
| RLL, значения                    |                                      |                                  |           |
| Гиперлордоз                      | —                                    | —                                | 0,001     |
| Оптимальный лордоз               | 0 — 16 (38,1 %)                      | 0 — 27 (64,2 %)                  |           |
| Умеренный гипокифоз              | 2 — 13 (31,0 %)                      | 2 — 13 (31,0 %)                  |           |
| Грубый гиперкифоз                | 3 — 13 (31,0 %)                      | 3 — 2 (4,8 %)                    |           |
| LDI, значения                    |                                      |                                  |           |
| Гиперлордоз                      | 0 — 11 (26,2 %)                      | 0 — 36 (85,7 %)                  | <0,001    |
| Оптимальный лордоз               | 1 — 1 (2,4 %)                        | 1 — 0                            |           |
| Умеренный гиполордоз             | 2 — 1 (2,4 %)                        | 2 — 1 (2,4 %)                    |           |
| Тяжелый гиполордоз               | 3 — 29 (69,0 %)                      | 3 — 5 (11,9 %)                   |           |
| RSA, значения                    |                                      |                                  |           |
| Отрицательное                    | —                                    | —                                | 0,006     |
| Оптимальное                      | 0 — 24 (57,1 %)                      | 0 — 38 (90,5 %)                  |           |
| Умеренное                        | 1 — 12 (28,6 %)                      | 1 — 4 (9,5 %)                    |           |
| положительное                    | 3 — 6 (14,3 %)                       | 3 — 0                            |           |
| Тяжелое положительное            | —                                    | —                                |           |
| Категории                        |                                      |                                  |           |
| 0—2, пропорциональный            | 8 (19,0 %)                           | 28 (66,7 %)                      | <0,001    |
| 3—7, умеренно непропорциональный | 20 (47,6 %)                          | 12 (28,6 %)                      |           |
| >7, грубо непропорциональный     | 14 (33,3 %)                          | 2 (4,8 %)                        |           |
|                                  |                                      |                                  |           |

RPV — положение таза; RLL — поясничный лордоз; LDI — индекс распределения лордоза; RSA — глобальное позвоночно-тазовое отношение.

Таблица 4

Интраоперационные и послеоперационные осложнения

| Осложнение                                                    | Класс осложнения | Количество, n (%) |
|---------------------------------------------------------------|------------------|-------------------|
| Ранняя глубокая инфекция области хирургического вмешательства | 3b               | 3 (7,1)           |
| Мочевой затек                                                 | 3b               | 1 (2,3)           |
| Анемия, требующая трансфузии                                  | 2                | 5 (11,9)          |
| Тромбоз вен нижних конечностей                                | 2                | 2 (4,7)           |
| Преходящее нарушение мозгового кровообращения                 | 2                | 1 (2,3)           |
| Всего                                                         |                  | 12 (28,3)         |

тических кифозов грубо нарушают анатомию нижнепоясничного отдела позвоночника и поясничный лордоз в целом, что запускает механизм компенсаторных реакций со стороны осанки, истощение которых приводит к клиническим проявлениям деформации позвоночника в виде боли и функциональной несостоятельности (клинический пример представлен на рис. 5).

Литературные источники, посвященные сагиттальному балансу и механизмам компенсации деформаций поясничного отдела позвоночника, в большинстве своем анализируют изменения дегенеративного характера, однако Barrey et al. [15] отмечают, что паттерны механизмов компенсации кифозирования универсальны — это уменьшение грудного кифоза, гиперэкстензия и ретролистез смежных сегментов, а при поясничной локализации деформации — ретроверсия таза. Lamartina и Berjano [16] считают механизмом компенсации локальной поясничной деформации грудной лордоз и ретроверсию таза. А.Е. Шульга с соавт. [17] показали, что для посттравматических деформаций на уровне L<sub>3</sub>–L<sub>5</sub> при снижении поясничного лордоза менее -17,5° характерными являются гиперэкстензия грудного отдела позвоночника и ретроверсия таза в виде изменения сагиттальных параметров — уменьшения SS и увеличения PT.

В нашем исследовании методика выявления механизма компенсации посттравматического кифоза поясничного отдела позвоночника основана на регистрации изменений параметров после возврата к близким к исходным, дотравматическим, показателям сагиттального профиля позвоночника, позвоночно-тазового и глобального баланса путем проведения корригирующей операции и исключения фактора локального кифоза. В ходе оперативного вмешательства достигнуты достаточный объем коррекции локального посттравматического кифоза и восстановление поясничного лордоза. Исследование изменений рентгенологических параметров до и после операции показа-

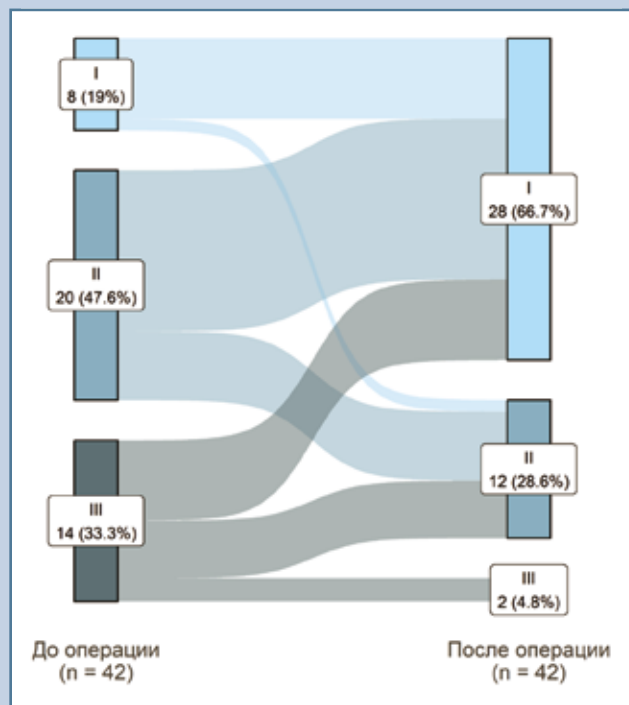


Рис. 3

Диаграмма сопряжения отражает динамику перехода из группы в группу в соответствии со шкалой GAP: I – сбалансированный тип (0–2 балла); II – умеренно диспропорциональный тип (3–6 баллов); III – грубо диспропорциональный тип (<7 баллов)

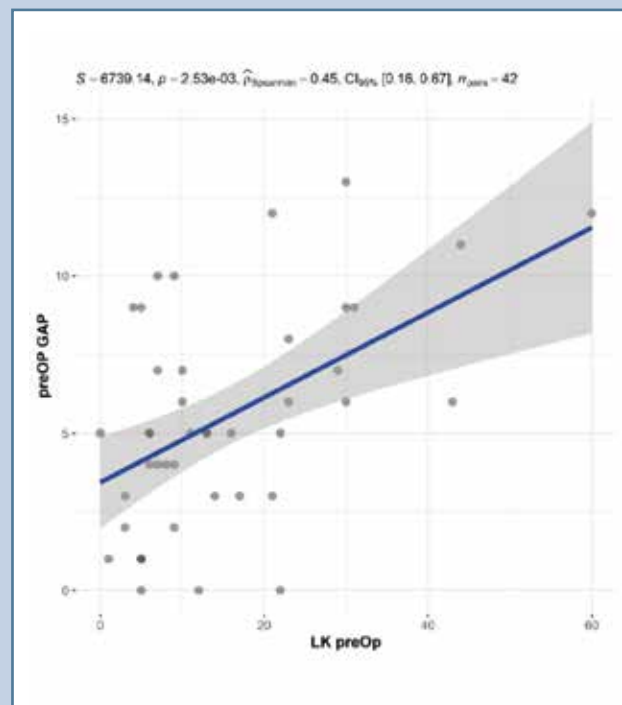


Рис. 4

Диаграмма рассеивания для показателей корреляции preOP LK и preOP GAP

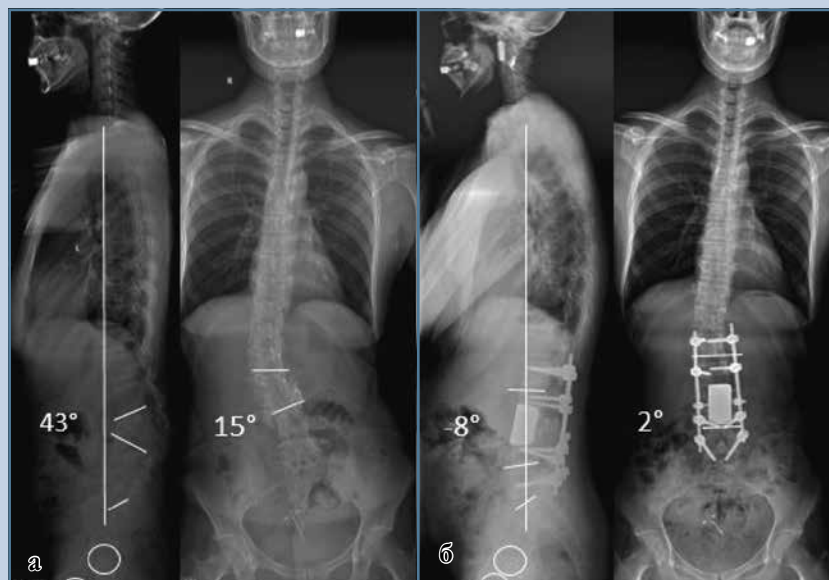
ло статистически значимое уменьшение грудного кифоза и ретроверсии таза по показателям SS и PT ( $p < 0,05$ ), а также значимое изменение глобального угла GT ( $p < 0,001$ ) – интегрального показателя, сочетающего параметры сагиттального профиля и позвоночно-тазового баланса, не чувствительного к произвольной позе пациента. Отмечено, что показатели LowLL до и после операции значимо не изменяются. Можно было бы предположить, что смежные с кифозированным позвонком сегменты также претерпят обратные изменения после операции. Однако изменение смежного с кифозом грудопоясничного угла происходит, а нижнепоясничного – нет, но изменяется положение таза. Это может свидетельствовать о длительном включении компенсаторного механизма гиперэкстензии смежного сегмента,

связанного, по-видимому, с анатомической утратой части подвижного поясничного отдела позвоночника на уровнях  $L_3$  и  $L_4$ .

При изучении корреляции величины коррекции локального кифоза ( $\Delta LK = 29,66^\circ \pm 13,83^\circ$ ) и периоперационных статистически значимых изменений ( $p < 0,001$ ) данных рентгенологических параметров получены высокая сила корреляции (по шкале Чеддока) с изменением смежных с вершиной кифоза грудного кифоза ( $r = 0,79$ ) и грудопоясничного угла ( $r = 0,51$ ), средней силы корреляции – с изменением тазовых параметров PT ( $r = 0,62$ ), SS ( $r = 0,55$ ) и PI-LL ( $r = 0,65$ ), а также GT ( $r = 0,69$ ). При этом с показателем SVA получена значимая слабая корреляция ( $r = 0,31$ ;  $p < 0,05$ ), а с LowLL корреляции не получено. Эти данные свидетельствуют о компенсаторных

изменениях поясничного отдела позвоночника в виде выраженного изменения смежной с посттравматической деформацией грудопоясничной области и грудного кифоза и менее выраженной ретроверсии таза, что в исследованной группе привело лишь к незначительным изменениям глобального баланса по SVA, но статистически значимо и выражено отразилось на показателе глобального угла GT.

Восстановление гармоничного сагиттального профиля является одной из основных задач при хирургическом лечении приобретенных деформаций взрослых. В нашем исследовании оценены группы оперированных пациентов по шкале GAP, которая интересна как с позиции оценки пропорциональности позвоночника в целом, так и в соотношении отдельных параметров с идеальным, индивидуализирован-

**Рис. 5**

Рентгенограммы пациентки И., 32 лет, давность деформации – 12 лет: **а** – посттравматический кифоз L<sub>2</sub>–L<sub>3</sub> (43°) с левосторонним наклоном L<sub>2</sub>–L<sub>4</sub> (15°) вследствие перенесенного взрывного перелома (A4 по AOSpine) тела L<sub>3</sub> позвонка; ТК – 0°, LL – 18°, PI – 52°, PT – 18°, SS – 34°, SVA – 2,2 см, GT – 19°; GAP – 7 баллов (грубо диспропорциональный); посттравматический стеноз позвоночного канала, полирадикулопатия вследствие компрессии корешков конского хвоста; ODI – 60, ВАШ – 7; **б** – результат 3-этапного оперативного вмешательства через 1 год после операции (фасетэктомия L<sub>2</sub>–L<sub>3</sub>, передняя декомпрессия, вентральный корригирующий спондилодез L<sub>2</sub>–L<sub>4</sub> и транспедикулярная фиксация L<sub>1</sub>–L<sub>2</sub>–L<sub>4</sub>–L<sub>5</sub>); достигнута коррекция кифоза и бокового наклона; LK – 8°, ТК – 22°, LL – 38°, PI – 52°, PT – 15°, SS – 37°, SVA – 0,7 см, GT – 10°; GAP – 3 балла (умеренно диспропорциональный); регресс неврологической симптоматики; ODI – 20, ВАШ – 2

ным по показателю PI [18]. Sun et al. [19] статистическими методами показали преимущество GAP в прогнозировании исхода коррекции деформации поясничного отдела позвоночника перед альтернативными методами, такими как оценка соответствия типу осанки по Roussouly. Анализ отдельных компонентов шкалы GAP позволяет оценить коррекцию поясничного кифоза и гиполордоза (как гипокоррекцию, так и гиперкоррекцию) по таким показателям, как LDI и RLL. Оценка по шкале GAP до и после операции показала динамику перехода 26 (61,9 %) пациентов в более сбалансированную категорию. Исключение составляет 1 пациент, перешедший из пропорциональной в умеренно диспропор-

циональную группу, что было связано с полученной после операции гиперкоррекцией поясничного лордоза. Использование шкалы GAP и ее компонентов для предоперационного планирования реконструкции поясничного лордоза позволяет иметь интраоперационные ориентиры коррекции локального кифоза, что наиболее обосновано у пациентов с I и II типами осанки по Roussouly и конституциональным поясничным относительным гиполордозом, поскольку гиперкоррекция лордоза менее благоприятна для исхода лечения, чем гипокоррекция [20].

Также выявили, что величина локального кифоза до операции находится в положительной корреляционной связи

со значением GAP: чем более выражен посттравматический кифоз, тем более выражен дисбаланс позвоночника (рис. 4).

Практическая значимость выявленных механизмов компенсации деформации состоит в возможности их использования в качестве критерия при принятии решений о тактике лечения пациентов.

Методом выбора хирургического лечения посттравматического поясничного кифоза мы считаем одномоментные многоэтапные оперативные вмешательства: корпэктомия кифозогенного позвонка, вентральный корригирующий спондилодез и заднюю транспедикулярную фиксацию. Использование по показаниям технологии вентрального корригирующего спондилодеза позволяет исправить посттравматическую кифотическую деформацию любой величины. Поскольку операцию выполняют в положении пациента на спине и коррекцию кифоза проводят приданием постуральной экстензии изменением угла хирургического стола, доступна опция дозированного постурального исправления кифоза и восстановления поясничного лордоза под рентгенологическим контролем до должных значений. Сопутствующий в некоторых случаях грубому кифозу компонент деформации во фронтальной плоскости (боковой наклон и латеролистез) был скорректирован после коррекции кифоза и восстановления высоты позвоночного сегмента и не потребовал дополнительного изменения техники операции.

В литературе, посвященной хирургии деформаций взрослых, проводится заочная полемика авторов о травматичности этапных операций, их противопоставляют операциям «одного доступа», таким как трехколонные остеотомии позвоночника. Можно предположить, что формально более травматичные этапные вмешательства могут отличаться большими продолжительностью, кровопотерей и частотой осложнений. Результаты нашего исследования не подтверждают эти ожидания.

В нашем исследовании общая продолжительность вмешательства (по сумме всех этапов) составила 318 мин [150; 600], кровопотеря – 677 мл [150; 1800]. Однако при трехколонных остеотомиях, особенно VCR [5], являющихся альтернативой этапному лечению, кровопотеря и продолжительность операции значительно превышают наши данные. Suk et al. [21] сообщают о 215 мин операционного времени и о кровопотере 1930 мл, Oneil et al. [22] – о 521 мин и 1800 мл, Lazennec et al. [23] – о 128 мин и 1280 мл кровопотери соответственно.

Осложнения в хирургии деформаций позвоночника остаются значимой проблемой, при использовании трехколонных остеотомий они могут достигать, по данным мультицентрового исследования Bianco et al. [24], 46 %. Mundis et al. [25] при исследовании результатов двух групп с трехколонными остеотомиями на поясничном уровне и комбинированным переднезадним подходом не выявили достоверной разницы по частоте больших осложнений (35,3 и 41,2 %).

В нашей группе у 9 (21,4 %) пациентов отмечено 12 осложнений. Шкала

Clavien – Dindo позволяет выделить наиболее прогностически значимые осложнения (класс 3b), которых было 4 (9,4 %). Неврологических осложнений не было. Встретилось казуистически редкое интраоперационное осложнение в хирургии позвоночника – повреждение мочеточника [26]. Ретроспективно можно сказать, что осложнение было связано с грубыми фиброзными изменениями забрюшинного пространства на вершине кифоза, оно интраоперационно не было замечено и проявилось на 5-е сут после операции. Проводили дифференциацию диагноза выявленного на МРТ забрюшинного жидкостного образования между псевдоменингоцеле, лимфоцеле и мочевым затеком. Диагностировали осложнение с помощью экскреторной урографии.

### Заключение

Основными компенсаторными механизмами посттравматических деформаций с вершиной на L<sub>3</sub> и L<sub>4</sub> являются уменьшение грудного кифоза, лордозирование грудопоясничной области и ретроверсия таза.

Этапное оперативное лечение посттравматических деформаций поясничного отдела позвоночника значительно улучшает показатели позвоночно-тазового и глобального сагиттального баланса. Использование технологии вентрального корригирующего спондилодеза на уровнях L<sub>3</sub> и L<sub>4</sub> позвонков позволило улучшить сагиттальный профиль пациентов в 61,9 % случаев.

Метод этапных оперативных вмешательств, наряду с умеренными длительностью операции и интраоперационной кровопотерей, сопровождается приемлемым количеством осложнений.

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

*Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом учреждения.*

*Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.*

## Литература/References

- De Gendt EEA, Muijs SPJ, Benneker LM, Oner FC. Term and definition of a deformity after a spine trauma: Results of an international Delphi study. Brain Spine. 2024;4:102749. DOI: 10.1016/j.bas.2024.102749.
- Magerl F, Aebi M, Gertzbein SD, Harms J, Nazarian S. A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries. Eur Spine J. 1994;3:184–201. DOI: 10.1007/BF02221591.
- 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.
- Vaz G, Roussouly P, Berthonnaud E, Dimnet J. Sagittal morphology and equilibrium of pelvis and spine. Eur Spine J. 2002;11:80–87. DOI: 10.1007/s005860000224.
- Schwab F, Blondel B, Chay E, Demakakos J, Lenke L, Tropiano P, Ames C, Smith JS, Shaffrey CI, Glassman S, Farcy JP, Lafage V. The comprehensive anatomical spinal osteotomy classification. Neurosurgery. 2014;74:112–120. DOI: 10.1227/NEU.0000000000001820.
- Yilgor C, Sogunmez N, Boissiere L, Yavuz Y, Obeid I, Kleinstück F, Pérez-Gruoso FJS, Acaroglu E, Haddad S, Mannion AF, Pellise F, Alanay A. 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.
- Charles YP, Bauduin E, Pesenti S, Ilharreborde B, Prost S, Laouissat F, Riouallon G, Wolff S, Challier V, Obeid I, Boissiere L, Ferrero E, Solla F, Le Huec JC, Bourret S, Faddoul J, Abi Lahoud GN, Fiere V, Vande Kerckhove M, Campana M, Lebhar J, Giorgi H, Faure A, Sauleau EA, Blondel B. Variation of global sagittal alignment parameters according to gender, pelvic incidence, and age. Clin Spine Surg. 2022;35:E610–E620. DOI: 10.1097/BSD.0000000000001321.
- Dindo D, Demartines N, Clavien PA. Classification of surgical complications: a new proposal with evaluation in a cohort of 6336 patients and results of a survey. Ann Surg. 2004;240:205–213. DOI: 10.1097/01.sla.0000133083.54934.ae.
- Obeid I, Boissiere L, Yilgor C, Larrieu D, Pellise F, Alanay A, Acaroglu E, Perez-Gruoso FJ, Kleinstuck F, Vital JM, Bourghli A. Global tilt: a single parameter incorporating spinal and pelvic sagittal parameters and least affected by patient positioning. Eur Spine J. 2016;25:3644–3649. DOI: 10.1007/s00586-016-4649-3.
- Cavagnaro MJ, Tavaloro C, Orenday-Barraza JM, Farhardi D, Baaj AA, Bransford R. Burst fractures of the fifth lumbar vertebra: Case series and systematic review. J Clin Neurosci. 2022;103:163–171. DOI: 10.1016/j.jocn.2022.07.017.
- Moawad CM, Arzi H, Naik A, Bashir R, Arnold PM. Short-segment pedicle fixation of traumatic low lumbar fractures (L3–L5): report of 36 cases. Clin Spine Surg. 2022;35:E590–E595. DOI: 10.1097/BSD.0000000000001324.
- Alsayed MA, Elaai MA. Surgical management of posttraumatic thoracolumbar kyphosis: A review. J Family Med Prim Care. 2024;13:814–818. DOI: 10.4103/jfmpc.jfmpc\_689\_23.

13. **Munting E.** Surgical treatment of post-traumatic kyphosis in the thoracolumbar spine: indications and technical aspects. *Eur Spine J.* 2009;19 Suppl 1(Suppl 1):S69–S73. DOI: 10.1007/s00586-009-1117-3.
14. **Yaman O, Zileli M, Senturk S, Paksoy K, Sharif S.** Kyphosis after thoracolumbar spine fractures: WFNS Spine Committee Recommendations. *Neurospine.* 2021;18:681–692. DOI: 10.14245/ns.2142340.170.
15. **Barrey C, Roussouly P, Perrin G, Le Huec JC.** Sagittal balance disorders in severe degenerative spine. Can we identify the compensatory mechanisms? *Eur Spine J.* 2011;20 Suppl 5(Suppl 5):626–633. DOI: 10.1007/s00586-011-1930-3.
16. **Lamartina C, & Berjano P.** Classification of sagittal imbalance based on spinal alignment and compensatory mechanisms. *European spine journal: official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society.* 2014;23:1177–1189. DOI: 10.1007/s00586-014-3227-9.
17. **Шульга А.Е., Зарецков В.В., Островский В.В., Бажанов С.П., Лихачев С.В., Смолькин А.А.** Особенности сагиттального баланса пациентов при посттравматических деформациях грудного и поясничного отделов позвоночника // Гений ортопедии. 2021. Т. 27. № 6. С. 709–716. [Shulga A, Zaretskov V, Ostrovskij V, Bazhanov S, Likhachev S, Smolkin A. Peculiarities of the sagittal balance of patients with post-traumatic deformities of the thoracic and lumbar spine. *Genij Ortopedii.* 2021;27(6):709–716]. DOI: 10.18019/1028-4427-2021-27-6-709-716.
18. **Gupta MC, Yilgor C, Moon HJ, Lertudomphonwanit T, Alanay A, Lenke L, Bridwell KH.** Evaluation of global alignment and proportion score in an independent database. *Spine J.* 2021;21:1549–1558. DOI: 10.1016/j.spinee.2021.04.004.
19. **Sun X, Sun W, Sun S, Hu H, Zhang S, Kong C, Lu S.** Which sagittal evaluation system can effectively predict mechanical complications in the treatment of elderly patients with adult degenerative scoliosis? Roussouly classification or Global Alignment and Proportion (GAP) Score. *J Orthop Surg Res.* 2021;16:641. DOI: 10.1186/s13018-021-02786-8.
20. **Pizones J, Moreno-Manzanaro I, Sanchez Perez-Grueso FJ, Vila-Casademunt A, Yilgor C, Obeid I, Alanay A, Kleinstuck F, Acaroglu ER, Pellise F.** Restoring the ideal Roussouly sagittal profile in adult scoliosis surgery decreases the risk of mechanical complications. *Eur Spine J.* 2020;29:54–62. DOI: 10.1007/s00586-019-06176-x.
21. **Suk SI, Kim JH, Lee SM, Chung ER, Lee JH.** Anterior-posterior surgery versus posterior closing wedge osteotomy in posttraumatic kyphosis with neurologic compromised osteoporotic fracture. *Spine.* 2003;28:2170–2175. DOI: 10.1097/01.BRS.0000090889.45158.5.
22. **Oncill KR, Lenke LG, Bridwell KH, Hyun SJ, Neuman B, Dorward I, Koester L.** Clinical and radiographic outcomes after 3-column osteotomies with 5-year follow-up. *Spine.* 2014;39:424–432. DOI: 10.1097/BRS.0000000000000156.
23. **Lazennec JY, Neves N, Rousseau MA, Boyer P, Pascal-Mousellard H, Saillant G.** Wedge osteotomy for treating post-traumatic kyphosis at thoracolumbar and lumbar levels. *J Spinal Disord Tech.* 2006;19:487–494. DOI: 10.1097/01.bsd.0000211296.52260.9c.
24. **Bianco K, Norton R, Schwab F, Smith JS, Klineberg E, Obeid I, Mundis G Jr, Shaffrey CI, Kebaish K, Hostin R, Hart R, Gupta MC, Burton D, Ames C, Boachie-Adjei O, Protopsaltis TS, Lafage V.** Complications and intercenter variability of three-column osteotomies for spinal deformity surgery: a retrospective review of 423 patients. *Neurosurg Focus.* 2014;36:E18. DOI: 10.3171/2014.2.FOCUS1422.
25. **Mundis GM, Jr, Turner JD, Kabirian N, Pawelek J, Eastlack RK, Uribe J, Klineberg E, Bess S, Ames C, Deviren V, Nguyen S, Lafage V, Akbarnia BA.** Anterior column realignment has similar results to pedicle subtraction osteotomy in treating adults with sagittal plane deformity. *World Neurosurg.* 2017;105:249–256. DOI: 10.1016/j.wneu.2017.05.12.
26. **Turgut M, Turgut AT, Dogra VS.** Iatrogenic ureteral injury as a complication of posterior or lateral lumbar spine surgery: a systematic review of the literature. *World Neurosurg.* 2020;135:280–296. DOI: 10.1016/j.wneu.2019.12.107.

**Адрес для переписки:**

Борzych Константин Олегович  
630091, Россия, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17,  
Новосибирский НИИ травматологии и ортопедии  
им. Я.Л. Цивьяна,  
bkodoc@yandex.ru

**Address correspondence to:**

Borzykh Konstantin Olegovich  
Novosibirsk Research Institute of Traumatology  
and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsivyan,  
17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia,  
bkodoc@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 03.09.2024

Рецензирование пройдено 20.09.2024

Подписано в печать 14.10.2024

Received 03.09.2024

Review completed 20.09.2024

Passed for printing 14.10.2024

## Приложение

| Методика расчета нарушения сагиттального профиля по GAP [6]                         |                                       |       |                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Параметры                                                                           | Категории                             | Баллы | Вид пропорциональности                                                                                         |
| RPV = измеренное SS — идеальное SS;<br>идеальное SS = $PI \times 0,59 + 9$          | < -15 — тяжелая ретроверсия           | 3     | 0–2 — пропорциональный;<br><br>3–6 — умеренно диспропорциональный;<br><br>больше 7 — грубо диспропорциональный |
|                                                                                     | 15–7,1 — среднетяжелая ретроверсия    | 2     |                                                                                                                |
|                                                                                     | 7–5 — оптимальное положение           | 0     |                                                                                                                |
|                                                                                     | > 5 — антеверсия                      | 1     |                                                                                                                |
| RLL = измеренный LL — идеальный LL;<br>идеальный LL = $PI \times 0,62 + 29$         | < -25 — тяжелый гиполордоз            | 3     |                                                                                                                |
|                                                                                     | 25–14,1 — умеренный гиполордоз        | 2     |                                                                                                                |
|                                                                                     | 14–11 — оптимальный лордоз            | 0     |                                                                                                                |
|                                                                                     | > 11 — гиперлордоз                    | 3     |                                                                                                                |
| LDI = $L_4-S_1 LL/L_1-S_1 LL \times 100$                                            | < 40 % — тяжелый гиполордоз           | 2     |                                                                                                                |
|                                                                                     | 40–49 % — умеренный гиполордоз        | 1     |                                                                                                                |
|                                                                                     | 50–80 % — оптимальный лордоз          | 0     |                                                                                                                |
|                                                                                     | > 80 % — гиперлордоз                  | 3     |                                                                                                                |
| RSA = измеренный GT — идеальный GT;<br>идеальный GlobalTilt = $PI \times 0,48 - 15$ | > 18 — тяжелое положительное          | 3     |                                                                                                                |
|                                                                                     | 18–10,1 — среднетяжелое положительное | 1     |                                                                                                                |
|                                                                                     | 10–7 — оптимальное                    | 0     |                                                                                                                |
|                                                                                     | < -7,1 — отрицательное                | 1     |                                                                                                                |
| Возраст, лет                                                                        | < 60 — взрослые                       | 0     |                                                                                                                |
|                                                                                     | > 60 — пожилые                        | 1     |                                                                                                                |

RPV — положение таза, RLL — поясничный лордоз, LDI — индекс распределения лордоза, RSA — глобальное позвоночно-тазовое отношение.

Константин Олегович Борzych, канд. мед. наук, врач-травматолог-ортопед, нейрохирург, старший научный сотрудник научно-исследовательского отделения патологии позвоночника, Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17, ORCID: 0000-0001-5685-6834, bkodoc@yandex.ru;

Виктор Викторович Рерих, д-р мед. наук, начальник научно-исследовательского отделения патологии позвоночника, Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17, ORCID: 0000-0001-8545-0024, clinic@niito.ru.

Konstantin Olegovich Borzykh, MD, PhD, orthopaedic traumatologist, neurosurgeon, senior researcher of the Research Department of Spine Pathology, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsiuyan, 17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia, ORCID: 0000-0001-5685-6834, bkodoc@yandex.ru;  
 Viktor Viktorovich Rerikh, DMSc, Head of the Research Department of Spine Pathology, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsiuyan, 17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia, ORCID: 0000-0001-8545-0024, clinic@niito.ru.