



# ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТЕРИ КОРРЕКЦИИ ПОСЛЕ ИЗОЛИРОВАННОЙ ПЕРЕДНЕЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ПРИ ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ ВЫВИХОВ ШЕЙНЫХ ПОЗВОНКОВ СУБАКСИАЛЬНОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ

А.Д. Ластевский<sup>1</sup>, В.Л. Лукинов<sup>2</sup>, В.В. Рерих<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>3</sup>Новосибирский государственный медицинский университет, Новосибирск, Россия

**Цель исследования.** Выявление факторов, приводящих к потере коррекции и редислокации позвонков после изолированной передней хирургической реконструкции и стабилизации при вывихах субаксиальной локализации.

**Материал и методы.** Проведено ретроспективное когортное исследование типа STROBE данных 175 пациентов с вывихами шейных позвонков на субаксиальном уровне, оперативное лечение которых проведено в 2010–2019 гг. Ключевыми параметрами исследования являлись релевантные показатели сагиттального баланса шейного отдела позвоночника и морфологические характеристики повреждения: угол входа в грудную клетку (TIA), наклон Th<sub>1</sub> позвонка, шейный наклон, регионарный шейный лордоз C<sub>2</sub>–C<sub>7</sub>, перелом тела позвонка, перелом суставного отростка на уровне вывиха. Статистический анализ полученных данных проводили в программе RStudio.

**Результаты.** При значении предоперационного параметра TIA = 74,5° риск потери коррекции соответствует 28 %. В группах с TIA < 74,5° и с TIA ≥ 74,5° риски потери коррекции равны 17,3 % (95 % ДИ: 7–37 %) и 85,7 % (95 % ДИ: 60–96 %) соответственно. При увеличении показателя TIA на 10° шансы рецидива повышаются в 23,3 раза. Влияние перелома суставного отростка на потерю коррекции эквивалентно увеличению показателя TIA на 10°, а именно увеличивает шансы рецидива в 20,7 раза. Параметр «давность травмы» имеет влияние на потерю коррекции, однако он статистически незначим (p > 0,05).

**Заключение.** TIA, а также перелом суставного отростка на уровне повреждения являются статистически значимыми факторами, определяющими инициальную стабильность при изолированной передней хирургической реконструкции и стабилизации позвоночника на нижнешейном уровне при флексивно-дистракционных повреждениях типа 3 по Allen.

**Ключевые слова:** передняя шейная дискэктомия и стабилизация, вентральный спондилодез, шейный сагиттальный баланс, вывихи шейных позвонков, рецидив вывиха, редислокация, потеря коррекции, флексивно-дистракционное повреждение.

**Для цитирования:** Ластевский А.Д., Лукинов В.Л., Рерих В.В. Прогнозирование потери коррекции после изолированной передней стабилизации при хирургическом лечении вывихов шейных позвонков субаксиальной локализации // Хирургия позвоночника. 2020. Т. 17. № 3. С. 20–31.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2020.3.20-31>.

## PREDICTING THE LOSS OF CORRECTION AFTER ISOLATED ANTERIOR STABILIZATION IN THE SURGICAL TREATMENT OF SUBAXIAL CERVICAL DISLOCATIONS

A.D. Lastevsky<sup>1</sup>, V.L. Lukinov<sup>2</sup>, V.V. Rerikh<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsivyan, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup>Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia

<sup>3</sup>Novosibirsk State Medical University, Novosibirsk, Russia

**Objective.** To identify factors leading to the loss of correction and re-dislocation of the vertebrae after isolated anterior reconstruction and stabilization in the surgical treatment of subaxial cervical dislocations.

**Material and Methods.** A retrospective cohort STROBE-type study was carried out using data of 175 patients with dislocations of vertebrae in the subaxial cervical spine who were operated on in 2010–2019. The key parameters of the study were the relevant indices of the cervical sagittal balance and morphological characteristics of the injury: thoracic inlet angle (TIA), T1 vertebra slope, neck tilt, regional cervical C2–C7 lordosis, fracture of the vertebral body, and fracture of the articular process at the level of dislocation. Statistical analysis of the obtained data was carried out in the RStudio program.

**Results.** At preoperative TIA value of 74.5°, the risk of correction loss corresponds to 28 %. In the group with TIA < 74.5° and that with TIA ≥ 74.5°, the risk of correction loss is 17.3 % (95 % CI: 7–37 %) and 85.7 % (95 % CI: 60–96 %), respectively. With an increase in TIA

by 10°, the chance of recurrence increases by 23.3 times. The effect of the articular process fracture on the loss of correction is equivalent to an increase in T1A by 10°, namely, it increases the chance of recurrence by 20.7 times. The parameter “duration of injury” has an effect on the loss of correction, but it is statistically insignificant ( $p > 0.05$ ).

**Conclusion.** The parameter of the cervical sagittal balance, thoracic inlet angle, as well as the fracture of the articular process at the level of injury are statistically significant factors that determine the initial stability in isolated anterior surgical reconstruction and stabilization of the lower cervical spine for Allen type 3 flexion-distraction injuries.

**Key Words:** anterior cervical discectomy and stabilization, anterior spinal fusion, cervical sagittal balance, dislocations of cervical vertebrae, recurrent dislocation, re-dislocation, loss of correction, flexion-distraction injury.

Please cite this paper as: Lastevsky AD, Lukinov VL, Rerikh VV. Predicting the loss of correction after isolated anterior stabilization in the surgical treatment of subaxial cervical dislocations. *Hir. Pozvonoc.* 2020;17(3):20–31. In Russian.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2020.3.20-31>.

Двусторонние вывихи шейных позвонков – достаточно разрушительные травмы позвоночника, особенно с точки зрения развития серьезных неврологических последствий [1, 2]. Это трехколонные повреждения, характеризующиеся грубыми морфологическими нарушениями, которые наступают в результате гиперфлексии и дистракции на субаксиальном уровне шейного отдела позвоночника, приводящие в большинстве случаев к грубым неврологическим осложнениям. Встречаются преимущественно у людей молодого возраста (преобладают лица мужского пола), повреждения характеризуются двусторонними дислокациями, наиболее частая локализация – C<sub>6</sub>–C<sub>7</sub> [3–5]. Основной причиной вывихов являются дорожно-транспортные происшествия, падения с высоты, спортивные и велосипедные травмы [3–5].

Публикации, посвященные методам лечения вывихов шейных позвонков, немногочисленны, все они подчеркивают отсутствие единой тактики хирургического лечения при травматических дислокациях на субаксиальном шейном уровне [6–9]. Одни авторы в случае неврологически интактного сценария отдают предпочтение передней стабилизации [5, 8, 10]. Другие рекомендуют при неврологическом дефиците и наличии грыжи диска циркулярную стабилизацию, в случае ее отсутствия – переднюю [6]. Японские авторы предпочитают изолированную заднюю стабилизацию [11, 12]. Пациентам с двусторонними субаксиальными вывихами, независимо от степени неврологических

нарушений, ряд авторов рекомендует выполнять циркулярную стабилизацию [6, 7, 13]. Существующие разногласия отражаются в публикациях, стремящихся отстоять позиции передней хирургии, доказывая, что эффективность передней стабилизации при двусторонних вывихах высока, а процент редислокации и несостоятельности фиксации низкий [5, 14]. Альтернативная точка зрения отражена в исследованиях, которые акцентируют внимание на достаточно высоких цифрах (до 25 %) несостоятельности изолированной передней стабилизации, формировании редислокации и неблагоприятных отдаленных функциональных результатах [4, 15–17]. Данные литературы свидетельствуют о том, что тактика хирургического лечения вывихов шейных позвонков на субаксиальном уровне окончательно не определена. Публикации, посвященные эффективности изолированной передней стабилизации, противоречивы. В современных научных работах мы не нашли исследований, посвященных прогнозированию неблагоприятных исходов лечения вывихов шейных позвонков субаксиальной локализации.

Цель исследования – выявление факторов, приводящих к потере коррекции и редислокации позвонков после изолированной передней хирургической реконструкции и стабилизации при вывихах субаксиальной локализации.

Научная гипотеза исследования заключается в том, что имеется значимое влияние определенных параметров сагиттального шейного баланса

и особенностей морфологии повреждения на индукцию процесса редислокации, то есть потерю интраоперационно достигнутой коррекции после изолированной передней стабилизации при флексивно-дистракционных повреждениях на уровне C<sub>6</sub>–C<sub>7</sub> типа 3 по Allen [18].

Дизайн исследования: ретроспективное когортное типа STROBE [19].

## Материал и методы

Материалом исследования явились истории болезни, рентгенограммы, МРТ и МСКТ 175 пациентов, прооперированных в Новосибирском НИИТО им. Я.Л. Цивьяна в 2010–2019 гг. по поводу вывихов шейных позвонков на субаксиальном уровне. Выделена группа 1 ( $n = 16$ ) с признаками потери интраоперационно достигнутой коррекции, критериями которой являлись следующие параметры: сегментарный кифоз  $\geq 11^\circ$  (по Cobb) и сегментарная трансляция позвонка (сдвиг) на уровне стабилизированного сегмента  $\geq 3,5$  мм [16]. Пациенты этой группы имели билатеральные переломовывихи в 100 % случаев. Лечение им осуществляли с использованием технологии изолированной передней стабилизации с межтеловым кейджем из пористого никелида титана и шейной пластины 3-го поколения в режиме динамической фиксации. В группе преобладали повреждения на уровне C<sub>6</sub>–C<sub>7</sub> (63,6 %), из которых 72,7 % соответствовали типу 3 флексивно-дистракционных повреждений по классификации Allen et al. [18]. Взяв за основу эти данные, мы опреде-

лили критерии включения для пациентов группы контроля, к ним отнесены билатеральный характер повреждения, флексивно-дистракционные повреждения типа 3 по Allen, уровень повреждения C<sub>6</sub>–C<sub>7</sub>, проведенная изолированная передняя стабилизация с использованием пластины 3-го поколения в режиме динамической фиксации, моносегментарный характер травмы, отсутствие потери коррекции (редислокации) в послеоперационном периоде, возраст 15 лет и старше. Критерии исключения: типы 1, 2 и 4 флексивно-дистракционных повреждений по Allen, полисегментарные повреждения, диффузный идиопатический гиперостоз (болезнь Форестье), анкилозирующий спондилоартрит (болезнь Бехтерева), возраст младше 15 лет.

В ходе анализа общей выборки, проведенного на основе вышеперечисленных критериев, сформировали группу 2 (контрольную; n = 21). В обеих изучаемых группах степень повреждения и верификацию нестабильности определяли на основе классификационной системы [18], отражающей стадии флексивно-дистракционной травмы. Неврологический дефицит оценивали по шкале ASIA [20]. Интерпретацию результатов лечения проводили по клиническим и рентгенологическим данным при поступлении пациента, сразу после операции, через 3 мес. после лечения. По данным МСКТ шейного отдела позвоночника в местах контактов пористого материала с телами смежных позвонков, включенных в фиксацию, оценивали наличие или отсутствие склероза либо резорбции костной ткани. Оценку типа костно-металлической интеграции проводили с использованием классификации Tan et al. [21]. Оценивали следующие значимые показатели сагиттального баланса шейного отдела позвоночника: угол входа в грудную клетку (Т1А – thoracic inlet angle), регионарный шейный лордоз C<sub>2</sub>–C<sub>7</sub> (CL – cervical lordosis) [22, 23]. Проводили анализ по морфологическим характеристикам повреждений: наличию или отсутствию перелома хотя бы

одного суставного отростка, перелома тела каудального позвонка, признаков остеопороза по данным МСКТ. Кроме того, сравнительно оценивали группы по возрасту, длительности койкодня, давности травмы.

Дескриптивные характеристики представлены в виде медианы [первый квартиль; третий квартиль] для непрерывных параметров (возраста, длительности койкодня, давности травмы, сегментарного угла, сдвига, Т1А; в табл. 1 дополнительно представлены среднее ± стандартное отклонение); количества случаев, процента [нижняя граница 95 % ДИ; верхняя граница 95 % ДИ] для бинарных данных (пола и сопутствующих факторов с вычислением границ доверительных интервалов (ДИ) по формуле Вильсона); количества пациентов в категории (процент) для категориальных данных относительно причины травмы и уровня исходного неврологического дефицита по шкале ASIA.

Для сравниваемых групп с потерей коррекции и без потери коррекции не выявлено непрерывных показателей возраста, длительности койкодня, давности травмы, сегментарных углов, сдвигов и Т1А (табл. 1), одновременно согласующихся с нормальным законом распределения по критерию Шапиро – Уилка и сопоставимыми дисперсиями согласно F-тесту Фишера, поэтому для их сравнения использовали непараметрический U-критерий Манна – Уитни, производили расчет смещения распределений с построением 95 % доверительного интервала для смещения. Сравнение бинарных и категориальных показателей проводили точным двусторонним критерием Фишера. Величины эффекта у сравниваемых бинарных показателей вычисляли в виде отношения шансов с 95 % ДИ.

Выявление предикторов потери коррекции выполняли построением моделей логистических регрессий. По однофакторным моделям выявляли отдельные предикторы потери коррекции. Перед построением многофакторных моделей находили коллинеарные коварианты путем

расчета коэффициентов корреляции Пирсона, из исходных многофакторных моделей, включающих коварианты с достигнутым уровнем значимости  $p < 0,300$  в однофакторных моделях. Для дополнительного контроля методами прямого и обратного шага по информационному критерию Акаике (AIC) строили оптимальные модели многофакторной логистической регрессии. Модели прямого и обратного шага совпали. Для формулы многофакторной модели логистической регрессии методами ROC-анализа рассчитывали наилучший с точки зрения отношения чувствительности и специфичности порог отсеечения вероятности потери коррекции и оценивали с построением 95 % ДИ качественные прогностические показатели: чувствительность (sensitivity), специфичность (specificity), частоту случаев метода (apparent prevalence), фактическую частоту случаев (true prevalence), положительную прогностическую ценность (positive predictive value), отрицательное прогностическое значение (negative predictive value), положительное и отрицательное отношения правдоподобия (positive likelihood ratio, negative likelihood ratio). Прогностические показатели между разными моделями логистических регрессий сравнивали по критерию McNemar, обобщенному взвешенному критерию Weighted generalized score statistic test и перцепционному тесту Diagnostic likelihood regression model (regtest).

Проверку статистических гипотез проводили при критическом уровне значимости  $p = 0,05$ , то есть различие считали статистически значимым при  $p < 0,05$ .

Все статистические расчеты выполняли в программе RStudio (версия 1.2.5001) на языке R (версия 3.6.1).

## Результаты

Обе группы представлены преимущественно мужчинами: группа 1 – М : Ж = 14 : 2; группа 2 – М : Ж = 17 : 4. Средний возраст в группе 1 – 54 [40,75; 65,25] года, в группе 2 – 46 [31,00; 59,00] лет ( $p = 0,283$ ). Значения сег-

Таблица 1

Сравнение показателей между пациентами с потерей коррекции (группа 1) и пациентами без потери коррекции (группа 2)

Параметры	Общая группа (n = 37)	Группа 1 (n = 16)	Группа 2 (n = 21)	U-критерий Манна – Уитни	
	МЕД [ИКИ] СРЕД ± СО	МЕД [ИКИ] СРЕД ± СО	МЕД [ИКИ] СРЕД ± СО	Разница [95 % ДИ]	p-уровень
Возраст, лет	48,0 [34,00; 62,00] 47,84 ± 17,61	54,0 [40,75; 65,25] 51,31 ± 15,51	46,0 [31,00; 59,00] 45,19 ± 19,00	-7,00 [-20,0; 6,0]	0,283
Койкодень	14,0 [11,00; 20,00] 20,70 ± 16,89	12,5 [10,00; 21,00] 22,06 ± 22,81	16,0 [13,00; 20,00] 19,67 ± 10,98	3,00 [-2,0; 7,0]	0,237
Давность травмы, сут	2,5 [0,88; 6,50] 6,36 ± 11,26	4,5 [1,00; 10,25] 10,24 ± 15,74	1,5 [0,50; 4,25] 3,27 ± 3,91	-2,00 [-6,0; 0,2]	0,159
Локальный сегментарный кифоз перед операцией, град.	11,0 [19,00; 5,00] 12,27 ± 9,30	6,5 [19,25; 2,00] 10,38 ± 10,63	12,0 [19,00; 9,00] 13,71 ± 8,20	4,53 [10,0; 2,0]	0,149
Локальный сегментарный угол (лордоз) после операции, град.	-6,0 [-2,00; -10,00] -6,22 ± 4,70	-7,5 [2,50; 10,25] -7,00 ± 5,07	-5,0 [-2,00; -9,00] -5,62 ± 4,43	-1,00 [-5,0; 2,0]	0,479
Сдвиг кпереди перед операцией, мм	6,0 [5,00; 8,00] 6,11 ± 2,28	5,0 [4,00; 6,25] 5,38 ± 1,96	7,0 [5,00; 8,00] 6,67 ± 2,39	2,00 [0,0; 3,0]	0,061
Сдвиг кпереди после операции, мм	0,0 [0,00; 0,00] 0,08 ± 0,36	0,0 [0,00; 0,00] 0,12 ± 0,50	0,0 [0,00; 0,00] 0,05 ± 0,22	0,00 [0,0; 0,0]	0,845
Лордоз перед операцией C <sub>2</sub> –C <sub>7</sub> , град.	12,0 [6,00; 22,00] 14,3 ± 11,24	12,5 [6,00; 21,25] 15,12 ± 11,71	12,0 [3,00; 24,00] 13,67 ± 11,11	-1,00 [-9,0; 6,0]	0,854
Лордоз после операции C <sub>2</sub> –C <sub>7</sub> , град.	18,0 [7,00; 27,00] 17,24 ± 12,30	15,5 [8,00; 28,00] 19,17 ± 13,66	18,0 [4,00; 24,00] 16,14 ± 11,67	-4,00 [-11,0; 8,0]	0,537
Т1А перед операцией, град.	70,0 [62,00; 78,00] 69,84 ± 11,25	79,0 [74,00; 84,25] 78,19 ± 8,18	63,0 [58,00; 70,00] 63,48 ± 8,91	-15,00 [-21,0; -9,0]	<0,001*
Т1А после операции, град.	71,5 [62,00; 81,00] 72,00 ± 11,26	81,0 [77,50; 85,50] 80,87 ± 6,44	62,0 [58,00; 71,00] 64,18 ± 8,40	-17,00 [-23,0; -10,0]	<0,001*

Т1А — угол входа в грудную клетку.

ментарного угла до и после операции, а также величины смещения на уровне поврежденного сегмента до и после операции статистически значимо не различались (табл. 1).

В группе 1 у 13 (81,3 %) пациентов рецидивы смещения выявлены на первом амбулаторном осмотре в срок 3 мес. после операции. У 3 (18,7 %) пациентов рецидив смещения выявлен до выписки из стационара, по этому поводу провели дополнительную заднюю стабилизацию в двух случаях, в одном случае – ревизионную операцию с продлением протяженности переднего спондилодеза. В отдаленном периоде у всех пациентов группы 1 отмечено формирование костно-металлического блока 1-го типа по Tan et al. [21] в условиях потери коррекции.

По параметру CL до и после операции группы различались, но статистически незначимо. При этом выявля-

ны статистически значимые различия значений параметра Т1А. В то же время предоперационные и послеоперационные значения этого параметра практически идентичны (табл. 1). Его значения не изменяются при смене положения тела в пространстве [24].

По точному двустороннему тесту Фишера при сравнении морфологических характеристик повреждения мы не выявили статистически значимых различий между группами (рис. 1).

Не выявлено статистически значимых различий в группах и по следующим параметрам: причина травмы, степень неврологического дефицита (рис. 2, 3).

Используя метод логистической регрессии, выявили предикторы, статистически значимо влияющие на реализацию редислокации на поврежденном сегменте C<sub>6</sub>–C<sub>7</sub> (табл. 2).

Возраст, койкодень, сегментарный угол, сдвиговое смещение, шейный лордоз при однофакторном анализе не определены как статистически значимые параметры, влияющие на рецидив дислокации на уровне повреждения.

При построении оптимальной многофакторной модели логистической регрессии выявлены мультипликативные значимые предикторы рецидива дислокации:

- Т1А предоперационный ( $p = 0,021$ ); увеличение предоперационного Т1А на  $k$  градусов увеличивает вероятность рецидива в 1,65к [1,22к; 3,17к] раза при прочих равных показателях перелома суставных отростков;

- перелом суставных отростков ( $p = 0,054$ ); перелом суставных отростков или одного из них хотя бы с одной стороны повышает шансы рецидива в 20,66 [1,68; 1046,08] раза

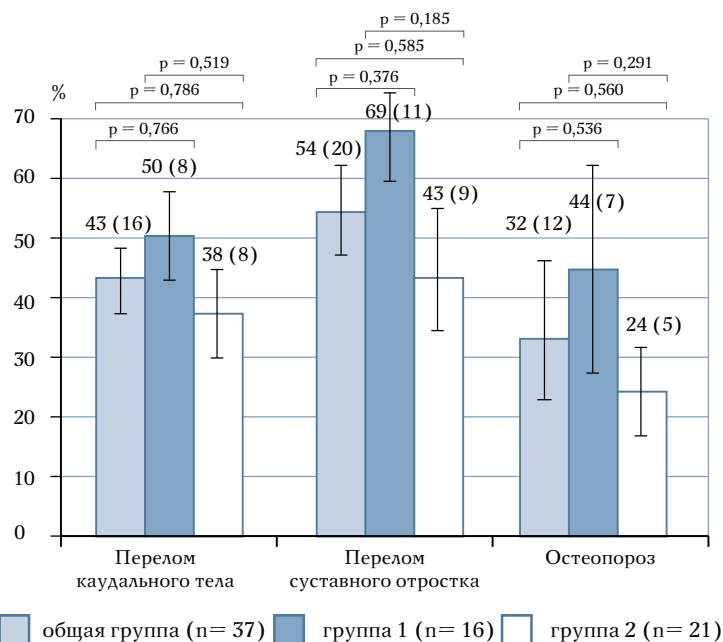


Рис. 1  
Различия в группах по морфологическим характеристикам повреждений

при прочих равных показателях предоперационного Т1А.

Формула полученной многофакторной модели прогноза потери коррекции (рецидива дислокации) имеет следующий вид:

$$P = \frac{e^z}{1+e^z}, (*)$$

где  $P$  (рецидив) – риск (вероятность) рецидива;  $z = -24,3471 + 0,3143 \cdot \text{Т1А} + 3,0282 \cdot \text{перелом суставного отростка}$ ;  $e^z$  – функция экспоненты в степени  $z$ ; Т1А – значение Т1А в градусах; перелом суставного отростка – полагается равным 1 для пациентов с переломом суставного отростка, 0 – иначе.

ROC-анализом определен сбалансированный показатель Т1А по чувствительности и специфичности, он составил 74,5° (рис. 4).

Проведен анализ моделей прогноза с параметрами Т1А и Т1А + перелом суставного отростка (рис. 5). График показывает, что чувствительность второй модели выше.

В своем исследовании Lee et al. [24] определили, что у асимптомных пациентов Т1А соответствует зна-

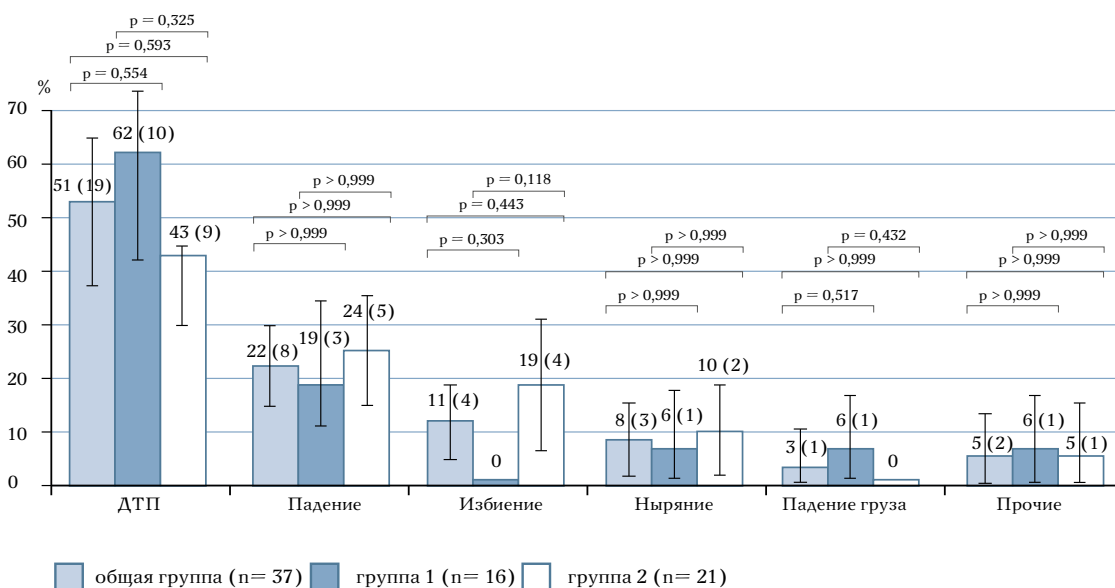
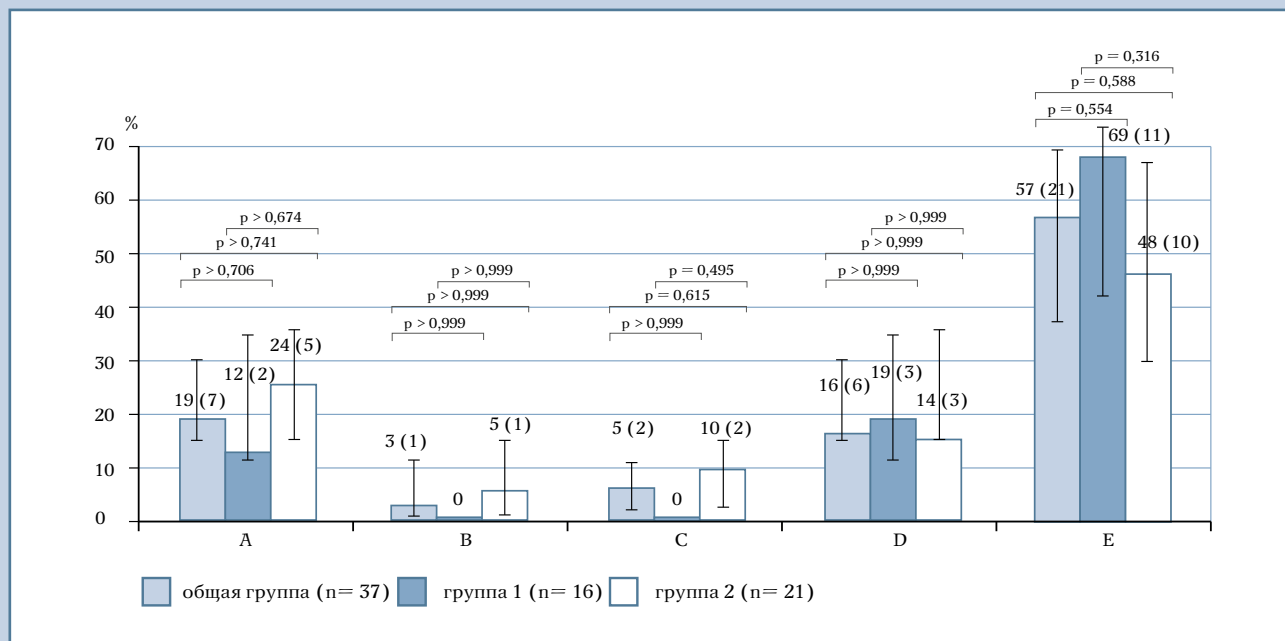


Рис. 2  
Различия в группах по параметру «причина травмы»





**Рис. 3**  
 Различия в группах по уровню исходного неврологического дефицита по шкале ASIA

**Таблица 2**  
 Предикторы редислокации

Коварианты	Однофакторные модели		Многофакторная модель (Т1А + перелом суставного отростка)		Многофакторная модель (Т1А + перелом суставного отростка + давность травмы)	
	ОШ [95 % ДИ]	p	ОШ [95 % ДИ]	p	ОШ [95 % ДИ]	p
Т1А перед операцией	1,23 [1,10; 1,43]	0,001*	1,37 [1,14; 1,88]	0,011*	1,70 [1,24; 3,32]	0,020*
Перелом суставного отростка	2,93 [0,77; 12,29]	0,122	20,66 [1,68; 1046,08]	0,054	93,96 [2,60; 54944,92]	0,051
Давность травмы	1,10 [0,99; 1,31]	0,171	—	—	1,52 [1,08; 2,79]	0,058

Т1А — угол входа в грудную клетку.

чению  $69,5^\circ \pm 8,6^\circ$  (от  $54,9$  до  $96,5^\circ$ ). На основании этого мы провели моделирование прогноза формирования рецидива с использованием значения  $T1A = 70,0^\circ$  и  $74,5^\circ$ . Результаты прогноза представлены в табл. 3.

Для определения прогноза рецидива дислокации взяли как более сбалансированный уровень  $T1A = 74,5^\circ$ . У пациентов с  $T1A > 74,5^\circ$  прогнозируется рецидив, а с  $T1A \leq 74,5^\circ$  — отсутствие рецидива.

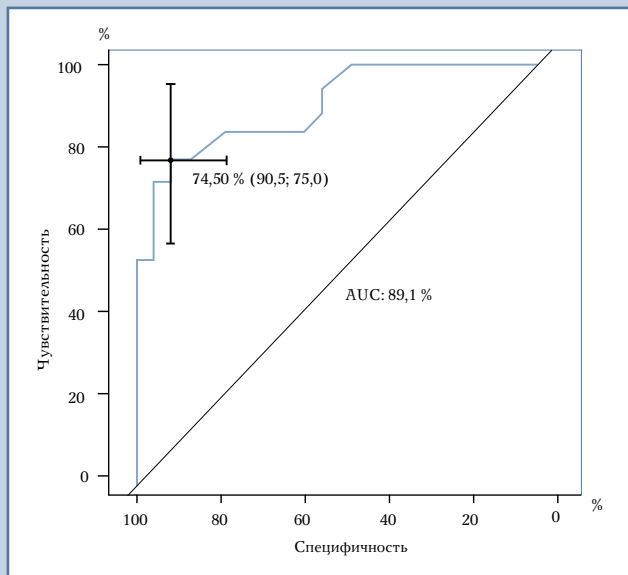
В качестве модели определения прогноза рецидива использовали параме-

тры Т1А и перелом суставного отростка, величины которых значимо отличаются в обеих исследуемых группах. Прогнозом определен уровень риска рецидива 28 % из формулы многофакторной логистической регрессии, построенной по значениям Т1А и наличию перелома суставного отростка.

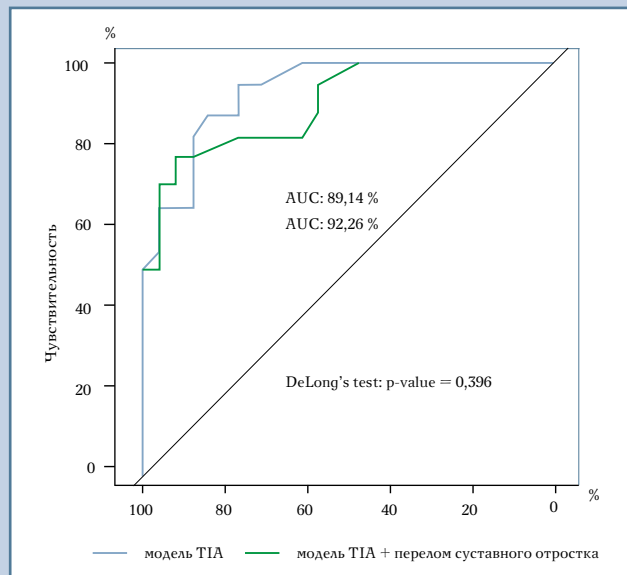
У пациентов с предсказываемым риском рецидива больше 28 % прогнозируется рецидив, иначе — отсутствие рецидива. Моделирование прогноза представлено в табл. 4.

Для клинической практики более важным является показатель чувствительности, чем специфичности, поэтому трехфакторная модель прогноза рецидива (Т1А + перелом суставного отростка + длительность травмы), в которой предсказываемый риск рецидива был больше 54 %, обладавшая меньшей чувствительностью, нами не принята (табл. 5). Чувствительность —  $0,87 [0,60; 0,98]$ .

Трехфакторная модель с включением параметра «давность травмы» требует дополнительных исследований,



**Рис. 4**  
ROC-кривая модели угла входа в грудную клетку



**Рис. 5**  
ROC-кривые моделей угла входа в грудную клетку (TIA) и TIA + перелом суставного отростка

**Таблица 3**

Сопряженность для прогностических моделей рецидива угла входа в грудную клетку (TIA) с уровнями 70,0° и 74,5°

Параметр	TIA – 70,0°			TIA – 74,5°		
	рецидив+	рецидив-	всего	рецидив+	рецидив-	всего
Прогноз+	13	5	18	12	2	14
Прогноз-	3	16	19	4	19	23
Всего	16	21	37	16	21	37

TIA — угол входа в грудную клетку.

**Таблица 4**

Сопряженность для прогностических моделей рецидива по TIA + перелом суставного отростка и TIA + перелом суставного отростка + давность травмы

Параметр	TIA + перелом суставного отростка (28 %)			TIA + перелом суставного отростка + давность травмы (54 %)		
	рецидив+	рецидив-	всего	рецидив+	рецидив-	всего
Прогноз+	15	5	20	13	1	14
Прогноз-	1	16	17	2	19	21
Всего	16	21	37	15	20	35

TIA — угол входа в грудную клетку.

сопровождающихся бóльшим количеством пациентов в группах сравнения.

Принята и предложена двухфакторная модель прогноза рецидива

(TIA + перелом суставного отростка): чувствительность – 0,94 [0,70; 1,00], в которой предсказываемый риск рецидива больше 28 %. (табл. 5).

Высокие показатели чувствительности в модели прогноза рецидива свидетельствуют о значимой прогностической ценности предложенных предикторов редислокации.

## Обсуждение

Стоит отметить, что при анализе современных отечественных и зарубежных публикаций, посвященных лечению вывихов шейных позвонков, в первую очередь обращает на себя внимание терминологическое несоответствие: один и тот же с морфологической точки зрения тип повреждения обозначается разными дефинициями. Тем не менее в англоязычной литературе вывихи шейных позвонков именуются термином «cervical facet dislocation», в случае двусторонней дислокации – «bilateral facet dislocation», в случае односторонней – «unilateral facet dislocation» [1, 25]. В структуре повреждений шейных

Таблица 5

Сравнение свойств моделей прогноза рецидива редислокации

Характеристика	Модель 1: T1A (70,0°)	Модель 2: T1A (74,5°)	Модель 3: T1A + перелом суставного отростка (28 %)	Модель 4: T1A + перелом суставного отростка + давность травмы (54 %)	Сравнение
	значение [95 % ДИ]	значение [95 % ДИ]	значение [95 % ДИ]	значение [95 % ДИ]	p-уровень
Частота случаев метода	0,49 [0,32; 0,66]	0,38 [0,22; 0,55]	0,54 [0,37; 0,71]	0,40 [0,24; 0,58]	1–2: 0,134 1–3: 0,683 1–4: 0,289 2–3: 0,041* 2–4: >0,999 3–4: 0,131
Фактическая частота случаев	0,43 [0,27; 0,61]	0,43 [0,27; 0,61]	0,43 [0,27; 0,61]	0,43 [0,26; 0,61]	—
Чувствительность	0,81 [0,54; 0,96]	0,75 [0,48; 0,93]	0,94 [0,70; 1,00]	0,87 [0,60; 0,98]	1–2: 0,317 1–3: 0,157 1–4: >0,999 2–3: 0,083 2–4: 0,317 3–4: 0,564
Специфичность	0,76 [0,53; 0,92]	0,90 [0,70; 0,99]	0,76 [0,53; 0,92]	0,95 [0,75; 1,00]	1–2: 0,083 1–3: >0,999 1–4: 0,102 2–3: 0,083 2–4: 0,564 3–4: 0,046*
Положительная прогностическая ценность	0,72 [0,47; 0,90]	0,86 [0,57; 0,98]	0,75 [0,51; 0,91]	0,93 [0,66; 1,00]	1–2: 0,118 1–3: 0,729 1–4: 0,103 2–3: 0,207 2–4: 0,519 3–4: 0,061
Отрицательное прогностическое значение	0,84 [0,60; 0,97]	0,83 [0,61; 0,95]	0,94 [0,71; 1,00]	0,90 [0,70; 0,99]	1–2: 0,704 1–3: 0,163 1–4: 0,743 2–3: 0,137 2–4: 0,269 3–4: 0,708
Положительное отношение правдоподобия	3,41 [1,53; 7,60]	7,88 [2,05; 30,32]	3,94 [1,81; 8,55]	17,33 [2,54; 118,30]	1–2: 0,131 1–3: 0,729 1–4: 0,144 2–3: 0,218 2–4: 0,529 3–4: 0,089
Отрицательное отношение правдоподобия	0,25 [0,09; 0,70]	0,28 [0,12; 0,65]	0,08 [0,01; 0,56]	0,14 [0,04; 0,51]	1–2: 0,704 1–3: 0,184 1–4: 0,743 2–3: 0,164 2–4: 0,273 3–4: 0,710

\*статистически значимо различающиеся значения.

Сравнение значений проводилось с помощью теста McNemar, точного двустороннего критерия Фишера и обобщенного взвешенного метода оценки WGS; T1A — угол входа в грудную клетку.



позвонков на долю переломовывихов приходится до 36,3 % [26]. Переломы суставных отростков при вывихах шейных позвонков на субаксиальном уровне встречаются, по данным разных авторов [14, 16], в 44,4–54,0 % случаев. Сочетание переломов тела позвонка на уровне дислокации выявляют в 17–19 % случаев [14, 16]. По мнению исследователей, эти факторы следует считать неблагоприятными, усложняющими получение стабильности после вентральных операций. Не менее половины повреждений спинного мозга, сопровождающихся полным или неполным неврологическим дефицитом, являются следствием переломовывихов на уровне сегментов C<sub>5</sub>–C<sub>6</sub>, C<sub>6</sub>–C<sub>7</sub> [25]. При этом более тяжелые разрушения спинного мозга возникают при двусторонних переломовывихах. [1]. У пациентов, вошедших в наше исследование, несколько меньше было переломов суставных отростков и примерно близкое к литературным данным число переломов тела смежного позвонка (соответственно), а неврологический дефицит присутствовал в 43,2 % случаев. Понимание патобиомеханики формирования двустороннего переломовывиха на субаксиальном уровне крайне важно, оно дает основу для формирования представления о степени повреждения стабилизирующего остеолигаментарного комплекса, что, в свою очередь, позволяет хирургу обеспечить патогенетический подход при планировании оперативного лечения. В литературе существуют две позиции на этот счет. Первой придерживаются исследователи, считающие, что двусторонние переломовывихи на шейном уровне являются следствием чрезмерного сгибания, вызванного осевой компрессией, приложенной эксцентрично к голове [1]. Другие считают, что дислокация формируется при резком замедлении движения туловища в момент, когда голова продолжает испытывать ускорение, что рассматривается как форсированная гиперфлексия шейного отдела позвоночника, сопровождающаяся приведением подбородка к груди [27]. Наблюда-

ющаяся в литературе трансформация взглядов исследователей-биомехаников нашла свое отражение в современной клинической классификации повреждений субаксиального уровня шейного отдела позвоночника, где вывихи шейных позвонков отнесены к типу С – трансляционным повреждениям. В более ранних морфологических классификациях они относились к типу В (флексионно-дистракционным повреждениям) и не утратили до настоящего времени своего значения [18, 26, 28].

Современные представления о хирургическом лечении вывихов на субаксиальном шейном уровне позвоночника строятся на том, что оперативное вмешательство должно обеспечить максимально раннюю декомпрессию спинного мозга, устранение деформации позвоночного канала, а также надежную переднюю, заднюю или циркулярную стабилизацию [7, 8]. Декомпрессия спинного мозга достигается путем вправления вывиха любым из существующих закрытых или открытых способов, при этом восстанавливается клиренс позвоночного канала [8, 26]. Согласно современным отечественным и зарубежным клиническим рекомендациям, после успешного вправления вывихов шейных позвонков, устранения деформации, восстановления клиренса позвоночного канала и декомпрессии спинного мозга необходимо осуществить либо переднюю [29, 30], либо заднюю [32, 31], либо комбинированную [8, 33–35] стабилизацию поврежденного сегмента позвоночника. Возникает вопрос о факторах, которые определяли бы прогноз успешности или неуспешности того или иного хирургического вмешательства.

Allen et al. [18] в 1982 г. описали типы флексионно-дистракционных повреждений: тип 1 – флексионный подвывих с целыми суставными отростками, расширением межостистого промежутка; тип 2 – односторонний вывих; тип 3 – двусторонний вывих со смещением тела кпереди до 50 %; тип 4 – спондилоптоз (флотирующий позвонок), редко встречающееся повреждение у живых людей. Клини-

цисты сталкиваются с потерей интраоперационно достигнутой коррекции при определенных типах флексионно-дистракционных повреждений в отдаленном периоде после передней хирургической стабилизации. Многие авторы связывают подобные явления с морфологией повреждения: с типом перелома суставных отростков и тел позвонков [16], остеопорозом, величиной кифоза [36] и трансляции, а также выраженностью повреждения связочных структур [37]. Henriques et al. [15] считают, что при передней шейной стабилизации реализуется механизм tension band (напряженной ленты), который обусловлен целостностью задней продольной связки. В случае целой связки при фиксации передней шейной пластиной достигается эффект относительной стабильности в зоне спондилодеза, что приводит к ожидаемой адекватной инициальной стабилизации позвоночного сегмента в контролируемом положении.

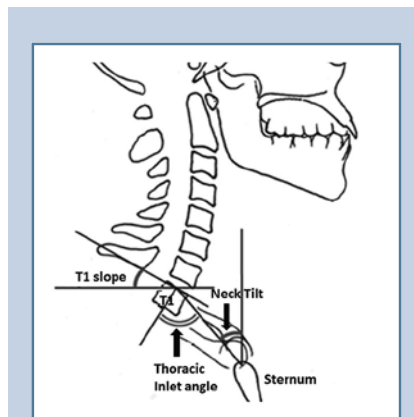
При флексионно-дистракционных повреждениях типов 1 и 2 по Allen [18], характеризующихся целостностью задней продольной связки, механизм напряженной ленты играет роль в достижении инициальной стабильности и полноценного сращения. В то же время повреждения типов 3 и 4 сопровождаются разрывом как задней продольной связки, так и глубоких мышц, меж- и надостистой связок. Моментальная ось вращения в таких случаях смещена ближе к пластине, механизм tension band не работает, что приводит к потере коррекции и редислокации. По этой причине передняя фиксация неэффективна в 50 % случаев при флексионно-дистракционных повреждениях типа 3.

Наши наблюдения свидетельствуют о том, что одно из ведущих мест в реализации редислокации в условиях изолированной передней стабилизации при флексионно-дистракционных повреждениях принадлежит особенностям взаимоотношений между шейными позвонками, характеризующимися определенными величинами параметров шейного сагиттального баланса. Существуют релевантные

показатели, в полной мере отражающие суть биомеханических взаимоотношений между позвоночно-двигательными сегментами. К ним относятся T1 slope, TIA, NT (рис. 6) [22, 38].

В среде исследователей до настоящего времени не достигнут консенсус по поводу нормальных величин шейного лордоза. Многочисленные исследования на асимптомных добровольцах показывают вариабельные результаты [38]. По данным Hardacker et al. [39], нормальный шейный лордоз C<sub>1</sub>–C<sub>7</sub> составляет  $40,0^\circ \pm 9,7^\circ$ , при этом субаксиальный шейный отдел обеспечивает около 15 % величины шейного лордоза. По данным метаанализа Guo et al. [40], среднее значение лордоза C<sub>2</sub>–C<sub>7</sub> у асимптомных волонтеров – около  $13^\circ$ , у мужчин значение лордоза больше. По материалам других исследований [38, 41], показатели сагиттального баланса шейного отдела позвоночника строго коррелируют с показателями функциональной дееспособности пациентов, оцененной по разным шкалам.

По данным Lee et al. [22], TIA, T1 slope, NT являются параметрами, которые определяют корреляцию сагиттальных шейных и груднопоясничных взаимоотношений. При исследовании здоровых волонтеров выявлено, что величины показателей TIA, T1 slope, NT составили  $69,5^\circ \pm 8,6^\circ$ ,  $25,7^\circ \pm 6,4^\circ$ , и  $43,7^\circ \pm 6,1^\circ$  соответственно [24]. Авторы определили, что TIA является морфологическим, то есть константой, и не меняется при смене положения. Показатель TIA является суммой величин параметров NT и T1 slope. В клинических исследованиях определена строгая прямая корреляция между TIA и T1 slope: коэффициент Пирсона – 0,694 [22]. Высокие значения TIA и T1 slope значимо коррелируют с усилением шейного лордоза C<sub>2</sub>–C<sub>7</sub> и наоборот [24]. Исследования показали, что у асимптомных волонтеров NT соответствует в среднем  $44^\circ$ , что определяет оптимальный расход энергии шей-



**Рис. 6**  
 Схема определения параметров сагиттального баланса шейного отдела позвоночника: T1 slope – угол первого грудного позвонка Th<sub>1</sub>; TIA – угол входа в грудную клетку; NT – шейный наклон

ной мускулатуры. Меньшие значения TIA приводят к уменьшению значения T1 slope, чтобы сохранить физиологическую величину NT, что приводит к уменьшению шейного лордоза.

В нашем исследовании величина шейного лордоза имела вариабельность, но его выраженность не имела значимой связи с отсутствием или возникновением редислокаций.

Ключевым звеном является выявленная обратная корреляция: увеличенный показатель TIA у пациента, обусловленный его конституцией, способствует формированию увеличенного значения параметра T1 slope и, следовательно, продуцирует потребность в усилении шейного лордоза. Это способствует формированию трансляционных (сдвиговых) нагрузок в шейно-грудном переходе позвоночника, что реализуется, с нашей точки зрения, в виде потери интраоперационно достигнутой коррекции (редислокации) у пациентов с вывихами нижнешейных позвонков в раннем периоде после оперативного лече-

ния (редукции) только при передней стабилизации.

## Заключение

Изолированная передняя хирургическая реконструкция и стабилизация позвоночника с использованием современных динамических шейных пластин при субаксиальных вывихах шейных позвонков сопровождаются потерей интраоперационно достигнутой коррекции в 9,1 % случаев (95 % ДИ: 5,7–14,3 %), а на уровне C<sub>6</sub>–C<sub>7</sub> и при типе 3 флексивно-дистракционных повреждений по Allen – в 43,2 % (95 % ДИ: 28,7–59,1 %). TIA, а также перелом суставного отростка на уровне повреждения являются статистически значимыми факторами, определяющими инициальную стабильность при изолированной передней хирургической реконструкции и стабилизации позвоночника на нижнешейном уровне при флексивно-дистракционных повреждениях типа 3 по Allen. При значении предоперационного параметра TIA, равном  $74,5^\circ$ , риск потери коррекции соответствует 28 %. В группах с TIA <  $74,5^\circ$  и с TIA  $\geq 74,5^\circ$  риски потери коррекции равны 17,3 % (95 % ДИ: 7–37 %) и 85,7 % (95 % ДИ: 60–96 %) соответственно ( $p < 0,001$ , OR = 4,9, 95 % ДИ: 2,0–12,3 %). При увеличении показателя TIA на  $10^\circ$  шансы рецидива повышаются в 23,3 раза. Влияние перелома суставного отростка на потерю коррекции эквивалентно увеличению показателя TIA на  $10^\circ$ , а именно увеличивает шансы рецидива в 20,7 раза. Параметр «давность травмы» имеет влияние на формирование потери коррекции после операции, однако он статистически незначим ( $p > 0,05$ ).

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

## Литература/References

1. **Nightingale RW, Bass CR, Myers BS.** On the relative importance of bending and compression in cervical spine bilateral facet dislocation. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2019;64:90–97. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2018.02.015.
2. **Wilson JR, Vaccaro A, Harrop JS, Aarabi B, Shaffrey C, Dvorak M, Fisher C, Arnold P, Massicotte EM, Lewis S, Rampersaud R, Okonkwo DO, Fehlings MG.** The impact of facet dislocation on clinical outcomes after cervical spinal cord injury: results of a multicenter North American prospective cohort study. *Spine*. 2013;38:97–103. DOI: 10.1097/brs.0b013e31826e2b91.
3. **Quarrington RD, Jones CF, Tcherveniakov P, Clark JM, Sandler SJI, Lee YC, Torabiadarkani S, Costi JJ, Freeman BJC.** Traumatic subaxial cervical facet subluxation and dislocation: epidemiology, radiographic analyses, and risk factors for spinal cord injury. *Spine J*. 2018;18:387–398. DOI: 10.1016/j.spinee.2017.07.175.
4. **Jack A, Hardy-St-Pierre G, Wilson M, Choy G, Fox R, Nataraj A.** Anterior surgical fixation for cervical spine flexion-distraction injuries. *World Neurosurg*. 2017;101:365–371. DOI: 10.1016/j.wneu.2017.02.027.
5. **Theodotou CB, Ghobrial GM, Middleton AL, Wang MY, Levi AD.** Anterior reduction and fusion of cervical facet dislocations. *Neurosurgery*. 2019;84:388–395. DOI: 10.1093/neuros/nyy032.
6. **Nassar A, Lee JY, Dvorak MF, Harrop JS, Dailey AT, Shaffrey CI, Arnold PM, Brodke DS, Rampersaud R, Grauer JN, Winegar C, Vaccaro AR.** Variations in surgical treatment of cervical facet dislocations. *Spine*. 2008;33:E188–E193. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181696118.
7. **Del Curto D, Tamaoki MJ, Martins DE, Puertas EB, Belloti JC.** Surgical approaches for cervical spine facet dislocations in adults. *Cochrane Database Syst Rev*. 2014;2014:CD008129. DOI: 10.1002/14651858.cd008129.pub2.
8. **Lins CC, Prado DT, Joaquim AF.** Surgical treatment of traumatic cervical facet dislocation: anterior, posterior or combined approaches? *Arq Neuropsiquiatr*. 2016;74:745–749. DOI: 10.1590/0004-282x20160078.
9. **Schleicher P, Kobbe P, Kandziora F, Scholz M, Badke A, Brakopp F, Ekkelein H, Gercek E, Hartensuer R, Hartung P, Jarvers JS, Matschke S, Morrison R, Muller CW, Pishnamaz M, Reinhold M, Schmeiser G, Schnake KJ, Stein G, Ullrich B, Weiss T, Zimmermann V.** Treatment of injuries to the subaxial cervical spine: Recommendations of the Spine Section of the German Society for Orthopaedics and Trauma (DGOU). *Global Spine J*. 2018;8(2 Suppl):255–335. DOI: 10.1177/2192568217745062.
10. **Woodworth RS, Molinari WJ, Brandenstein D, Gruhn W, Molinari RW.** Anterior cervical discectomy and fusion with structural allograft and plates for the treatment of unstable posterior cervical spine injuries. *Journal of Neurosurgery: Spine*. 2009;10:93–101. DOI: 10.3171/2008.11.spi08615.
11. **Nakashima H, Yukawa Y, Ito K, Machino M, El Zahlawy H, Kato F.** Posterior approach for cervical fracture-dislocations with traumatic disc herniation. *Eur Spine J*. 2011;20:387–394. DOI: 10.1007/s00586-010-1589-1.
12. **Tofuku K, Koga H, Yone K, Komiya S.** Distractive flexion injuries of the subaxial cervical spine treated with a posterior procedure using cervical pedicle screws or a combined anterior and posterior procedure. *J Clin Neurosci*. 2013;20:697–701. DOI: 10.1016/j.jocn.2012.03.045.
13. **Payer M, Tessitore E.** Delayed surgical management of a traumatic bilateral cervical facet dislocation by an anterior-posterior-anterior approach. *J Clin Neurosci*. 2007;14:782–786. DOI: 10.1016/j.jocn.2006.04.021.
14. **Anissipour AK, Agel J, Baron M, Magnusson E, Bellabarba C, Bransford RJ.** Traumatic cervical unilateral and bilateral facet dislocations treated with anterior cervical discectomy and fusion has a low failure rate. *Global Spine J*. 2017;7:110–115. DOI: 10.1177/2192568217694002.
15. **Henriques T, Olerud C, Bergman A, Jonsson H Jr.** Distractive flexion injuries of the subaxial cervical spine treated with anterior plate alone. *J Spinal Disord Tech*. 2004;17:1–7. DOI: 10.1097/00024720-200402000-00002.
16. **Johnson MG, Fisher CG, Boyd M, Pitzon T, Oxland TR, Dvorak MF.** The radiographic failure of single segment anterior cervical plate fixation in traumatic cervical flexion distraction injuries. *Spine*. 2004;29:2815–2820. DOI: 10.1097/01.brs.0000151088.80797.bd.
17. **Koller H, Reynolds J, Zenner J, Forstner R, Hempfing A, Maislinger I, Kolb K, Tauber M, Resch H, Mayer M, Hitzl W.** Mid- to long-term outcome of instrumented anterior cervical fusion for subaxial injuries. *Eur Spine J*. 2009;18:630–653. DOI: 10.1007/s00586-008-0879-3.
18. **Allen BL Jr, Ferguson RL, Lehmann TR, O'Brien RP.** A mechanistic classification of closed, indirect fractures and dislocations of the lower cervical spine. *Spine*. 1982;7:1–27. DOI: 10.1097/00007632-198200710-00001.
19. **Середа А.П., Андрианова М.А.** Рекомендации по оформлению дизайна исследования // Травматология и ортопедия России. 2019. Т. 25. № 3. С. 165–184. [Sereda AP, Andrianova MA. Study design guidelines. *Travmatologiya i ortopediya Rossii*. 2019;25(3):165–184. In Russian]. DOI: 10.21823/2311-2905-2019-25-3-165-184.
20. **Roberts TT, Leonard GR, Cepela DJ.** Classifications in Brief: American Spinal Injury Association (ASIA) Impairment Scale. *Clin Orthop Relat Res*. 2017;475:1499–1504. DOI: 10.1007/s11999-016-5133-4.
21. **Tan GH, Goss BG, Thorpe PJ, Williams RP.** CT-based classification of long spinal allograft fusion. *Eur Spine J*. 2007;16:1875–1881. DOI: 10.1007/s00586-007-0376-0.
22. **Lee SH, Son ES, Seo EM, Suk KS, Kim KT.** Factors determining cervical spine sagittal balance in asymptomatic adults: correlation with spinopelvic balance and thoracic inlet alignment. *Spine J*. 2015;15:705–712. DOI: 10.1016/j.spinee.2013.06.059.
23. **Ling FP, Chevillotte T, Leglise A, Thompson W, Bouthors C, Le Huec JC.** Which parameters are relevant in sagittal balance analysis of the cervical spine? A literature review. *Eur Spine J*. 2018;27(Suppl 1):8–15. DOI: 10.1007/s00586-018-5462-y.
24. **Lee SH, Kim KT, Seo EM, Suk KS, Kwack YH, Son ES.** The influence of thoracic inlet alignment on the craniocervical sagittal balance in asymptomatic adults. *J Spinal Disord Tech*. 2012;25:E41–E47. DOI: 10.1097/bsd.0b013e3182396301.
25. **Quarrington RD, Costi JJ, Freeman BJC, Jones CF.** Quantitative evaluation of facet deflection, stiffness, strain and failure load during simulated cervical spine trauma. *J Biomech*. 2018;72:116–124. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2018.02.036.
26. **Vaccaro AR, Koerner JD, Radcliff KE, Oner FC, Reinhold M, Schnake KJ, Kandziora F, Fehlings MG, Dvorak MF, Aarabi B, Rajasekaran S, Schroeder GD, Kepler CK, Vialle LR.** AOSpine subaxial cervical spine injury classification system. *Eur Spine J*. 2016;25:2173–2184. DOI: 10.1007/s00586-015-3831-3.
27. **Panjabi MM, Simpson AK, Ivancic PC, Pearson AM, Tominaga Y, Yue JJ.** Cervical facet joint kinematics during bilateral facet dislocation. *Eur Spine J*. 2007;16:1680–1688. DOI: 10.1007/s00586-007-0410-2.
28. **Бурцев А.В.** Выбор оптимальной классификации и лечебного алгоритма при субаксиальных повреждениях шейного отдела позвоночника // Бюллетень ВСНЦ СО ПМН. 2012. № 4 (86). Ч. 2. С. 21–25. [Burtsev AV. Choice of optimal classification and treatment algorithm at subaxial injuries of the cervical segment of spine. *Bull. ESSC SB RAMS*. 2012;(4 Pt 2):21–25. In Russian].
29. **Aebi M.** Surgical treatment of upper, middle and lower cervical injuries and non-unions by anterior procedures. *Eur Spine J*. 2010;19(Suppl 1):S33–S39. DOI: 10.1007/s00586-009-1120-8.
30. **Kim SG, Park SJ, Wang HS, Ju CI, Lee SM, Kim SW.** Anterior approach following intraoperative reduction for cervical facet fracture and dislocation. *J Korean Neurosurg Soc*. 2020;63:202–209. DOI: 10.3340/jkns.2019.0139.

31. **Abumi K, Ito M, Sudo H.** Reconstruction of the subaxial cervical spine using pedicle screw instrumentation. *Spine*. 2012;37:E349–E356. DOI: 10.1097/brs.0b013e318239cf1f.
32. **Joaquim AF, Mudo ML, Tan LA, Riew KD.** Posterior subaxial cervical spine screw fixation: a review of techniques. *Global Spine J*. 2018;8:751–760. DOI: 10.1177/2192568218759940.
33. **Бурцев А.В., Губин А.В.** Выбор метода стабилизации при травмах шейного отдела позвоночника // Гений ортопедии. 2017. Т. 23. № 2. С. 140–146. [Burtsev AV, Gubin AV. The choice of stabilization technique for cervical spine injuries. *Genij Ortopedii*. 2017;23(2):140–146. In Russian]. DOI 10.18019/1028-4427-2017-23-2-140-146.
34. **Рерих В.В., Ластевский А.Д., Аветисян А.Р.** Особенности тактики хирургического лечения флексивно-дистракционных повреждений субаксиального уровня шейного отдела позвоночника // Хирургия позвоночника. 2017. Т. 14. № 4. С. 32–38. [Rerikh VV, Lastevsky AD, Avetisyan AR. Features of the tactics of surgical treatment of flexion-distraction injuries of the subaxial cervical spine. *Hir. Pozvonoc*. 2017;14(4):32–38. In Russian]. DOI: 10.14531/ss2017.4.32-38.
35. **Яриков А.В., Фраерман А.П., Перлмуттер О.А., Симонов А.Е., Смирнов И.И.** Травма субаксиального уровня шейного отдела позвоночника: клиническая картина, диагностика, тактика лечения // Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2018. № 3 (75). С. 89–97. [Yarikov AV, Fraerman AP, Perlmutter OA, Simonov AE, Smirnov II. Injury of the subaxial level of the cervical spine: clinical picture, diagnosis, treatment tactics. *Health. Medical ecology. Science*. 2018;3:89–97. In Russian]. DOI: 10.5281/zenodo.1488060.
36. **Слынько Е.И., Нехлопочин А.С.** Оптимизация хирургической коррекции сагиттального контура позвоночно-двигательного сегмента при выполнении вентрального субаксиального цервикоспондилодеза // Травма. 2018. Т. 19. № 3. С. 67–74. [Slynko EI, Nekhlupochin AS. Optimization of surgical correction of spinal motion segment sagittal contour when performing anterior subaxial cervical fusion. *Travma*. 2018;19(3):67–74. In Russian]. DOI: 10.22141/1608-1706.3.19.2018.136409.
37. **Song KJ, Lee KB.** Anterior versus combined anterior and posterior fixation/fusion in the treatment of distraction-flexion injury in the lower cervical spine. *J Clin Neurosci*. 2008;15:36–42. DOI: 10.1016/j.jocn.2007.05.010.
38. **Tang JA, Scheer JK, Smith JS, Deviren V, Bess S, Hart RA, Lafage V, Shafrey CI, Schwab F, Ames CP.** The impact of standing regional cervical sagittal alignment on outcomes in posterior cervical fusion surgery. *Neurosurgery*. 2012;71:662–669. DOI: 10.1227/neu.0b013e31826100c9.
39. **Hardacker JW, Shuford RF, Capicotto PN, Pryor PW.** Radiographic standing cervical segmental alignment in adult volunteers without neck symptoms. *Spine*. 1997;22:1472–1479. DOI: 10.1097/00007632-199707010-00009.
40. **Guo GM, Li J, Diao QX, Zhu TH, Song ZX, Guo YY, Gao YZ.** Cervical lordosis in asymptomatic individuals: a meta-analysis. *J Orthop Surg Res*. 2018;13:147. DOI: 10.1186/s13018-018-0854-6.
41. **Guerin P, Obeid I, Gille O, Bourghli A, Luc S, Pointillart V, Vital JM.** Sagittal alignment after single cervical disc arthroplasty. *J Spinal Disord Tech*. 2012;25:10–16. DOI: 10.1097/bsd.0b013e31820f916c.

#### Адрес для переписки:

Рерих Виктор Викторович  
 630091, Россия, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17,  
 Новосибирский НИИ травматологии и ортопедии  
 им. Я.Л. Цивьяна,  
 clinic@niito.ru

#### Address correspondence to:

Rerikh Viktor Viktorovich  
 Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics  
 n.a. Y.L. Tsivyan,  
 17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia,  
 clinic@niito.ru

Статья поступила в редакцию 10.08.2020

Рецензирование пройдено 02.09.2020

Подписано в печать 07.09.2020

Received 10.08.2020

Review completed 02.09.2020

Passed for printing 07.09.2020

Алексей Дмитриевич Ластевский, заведующий травматолого-ортопедическим отделением № 1, научный сотрудник отделения патологии позвоночника, Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17, ORCID: 0000-0001-5917-1910, lastevskiy@mail.ru;

Виталий Леонидович Лукинов, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией численного анализа стохастических дифференциальных уравнений, Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Россия, 630090, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, ORCID: 0000-0002-3411-508X, vitality.lukinov@gmail.com;

Рерих Виктор Викторович, 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; профессор кафедры травматологии и ортопедии, Новосибирский государственный медицинский университет, Россия, 631091, Красный пр., 52, ORCID: 0000-0001-8545-0024, clinic@niito.ru.

Alexey Dmitrievich Lastevsky, Head of orthopedic trauma department, researcher of the Research Department of Spine Pathology, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsivyan, 17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia, ORCID: 0000-0001-5917-1910, lastevskiy@mail.ru;  
 Vitaliy Leonidovich Lukinov, PhD in Physics and Mathematics, senior researcher, Head of the Laboratory of numerical analysis of stochastic differential equations, Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 6 Akademika Lavrent'eva prospect, Novosibirsk, 630090, Russia, ORCID: 0000-0002-3411-508X, vitality.lukinov@gmail.com;

Viktor Viktorovich Rerikh, DMSc, Head of the Research Department of Spine Pathology, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsivyan, 17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia; Professor of traumatology and orthopedics in Novosibirsk State Medical University, 52 Krasny pr., Novosibirsk, 630091, Russia, ORCID: 0000-0001-8545-0024, clinic@niito.ru.