

## Сравнительный анализ хирургического лечения пострадавших с позвоночно-спинномозговой травмой на шейном уровне, оперированных методами передней и задней стабилизации

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Тюменский государственный медицинский университет», г.Тюмень; <sup>2</sup> ГБУЗ ТО «Областная клиническая больница №2», г.Тюмень; <sup>3</sup> ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г.Тюмень, <sup>4</sup> ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», г.Тюмень

Borisova O. A., Spiridonova N. A., Sergeev K. S., Lebedev I. A.

### Comparative analysis of surgical treatment of patients with spinal cord injury at the cervical level, operated by methods of anterior and posterior stabilization

#### Резюме

Изучить результаты хирургического лечения больных с позвоночно-спинномозговой травмой (ПСМТ) на шейном уровне, оперированных методами передней и задней стабилизации. В исследование включены 49 пострадавших с ПСМТ, которым был выполнен передний спондилодез или транспедикулярная фиксация (ТПФ) шейного отдела позвоночника. Пациенты с тяжёлой миелопатией (по шкале оценки вертеброгенной шейной миелопатии японской ассоциации ортопедов JOAm - 0-10 баллов) имели индекс восстановления неврологических функций ниже, чем больные с умеренной миелопатией ( $p=0,0001$  при ACDF,  $p=0,04$  при ACCF,  $p=0,002$  при ТПФ). Кровопотеря при передней фиксации (передняя шейная дискэктомия с межтеловым имплантатом и фиксацией пластиной (anterior cervical corpectomy and fusion, ACDF) была достоверно ниже, чем при ТПФ ( $p=0,002$ ). Установлено, что ортопедический эффект ТПФ был выше, чем при ACDF, так как ангуляция после ТПФ была меньше чем после ACDF ( $p=0,003$ ). Выявлена высокая степень обратной корреляции между степенью повреждения субаксиального отдела позвоночника по шкале SLIC (subaxial injury classification) и индексом восстановления неврологических функций,  $r=-0,75$ . Методика передней стабилизации шейного отдела позвоночника менее травматична для пациента, в то же время ТПФ даёт более надёжную стабилизацию позвоночника для активной реабилитации пациента.

**Ключевые слова:** шейный отдел позвоночника, хирургическое лечение, миелопатия, шкалы оценки исходов, транспедикулярная фиксация

**Для цитирования:** Борисова О. А., Спиридонова Н.А., Сергеев К.С., Лебедев И.А. Сравнительный анализ хирургического лечения пострадавших с позвоночно-спинномозговой травмой на шейном уровне, оперированных методами передней и задней стабилизации, Уральский медицинский журнал, №08 (191) 2020, с. 80 - 85, DOI 10.25694/URMJ.2020.08.35

#### Summary

To study the results of surgical treatment of patients with spinal cord injury at the level of the cervical spine, operated by methods of anterior and posterior stabilization. A statistical analysis of the treatment of 49 patients with spinal cord injury who was performed anterior spondylodesis or pedicle screw fixation at the level of the cervical spine. Patients with severe myelopathy (according to the Japanese orthopedic Association's vertebrogenic cervical myelopathy rating scale JOAm - 0-10 points) had a lower index recovery of neurological function than patients with moderate myelopathy ( $p=0,0001$  for ACDF,  $p=0,04$  for ACCF,  $p=0,002$  for pedicle screw fixation). Blood loss in anterior cervical corpectomy and fusion (ACDF) is significantly lower than in pedicle screw fixation ( $p=0,002$ ). The orthopedic effect of pedicle screw is significantly higher than ACDF, and angulation after pedicle screw fixation is less than after ACDF ( $p=0,003$ ). A high inverse correlation coefficient was found between the subaxial injury classification (SLIC) index and the index recovery of neurological function,  $r=-0,75$ . The technique of anterior stabilization

of the cervical spine is less traumatic for the patient, while pedicle screw fixation provides more reliable stabilization of the spine for active rehabilitation of the patient.

**Key words:** cervical spine, surgery, myelopathy, outcome scores, pedicle screw fixation

**For citation:** Borisova O. A., Spiridonova N. A., Sergeev K. S., Lebedev I. A. Comparative analysis of surgical treatment of patients with spinal cord injury at the cervical level, operated by methods of anterior and posterior stabilization. Ural Medical Journal, No. 08 (191) 2020, p. 80 - 85, DOI 10.25694/URMJ.2020.08.35

## Введение

Использование принципов доказательной медицины предполагает сочетание индивидуального клинического опыта и оптимальных доказательств, полученных путём систематизированного анализа клинических исследований, а междисциплинарный подход и статистический анализ помогают сделать правильные выводы. Несмотря на множество существующих шкал, основанных на различных критериях, в настоящий момент нет единого общепринятого метода оценки результатов оперативных вмешательств на шейном отделе позвоночника (ШОП). Помимо оценки клинично-инструментальных данных, мы применяли шкалы: Odom, ВАШ, JOAm до операции и после операции. Применение комплекса шкал позволяет повысить валидность оценки результатов хирургической реабилитации данной категории пациентов. Одной из наиболее применяемых шкал для оценки вертеброгенной шейной миелопатии является шкала, предложенная японской ассоциацией ортопедов (Japanese orthopedic association scale modified, JOAm) показавшая хороший результат в оценке исходов лечения пациентов с ПСМТ. Данные, получаемые по этой шкале, являются сопоставимыми с аналогичными данными по шкале оценки функциональных исходов при заболеваниях позвоночника, предложенной G.L. Odom в 1958 г., которая широко применяется до сих пор [1].

**Цель:** сравнить результаты хирургического лечения больных с ПСМТ на уровне ШОП, оперированных методами передней и задней стабилизации с использованием международных количественных шкал.

## Материалы и методы

Объектом исследования стали 49 пострадавших с ПСМТ на уровне ШОП, получавшие лечение в нейрохирургическом отделении ГБУЗ ТОКБ №2 г. Тюмени. Среди них повреждение С3-С7 позвонков (травма субаксиального отдела позвоночника) диагностировано у 44 пациентов, 5 человек поступили с повреждением на уровне краниовертебрального перехода (С1-С2). У всех больных имелась неврологическая симптоматика. Всем пациентам в экстренном порядке была выполнена стабилизация ШОП одним из методов: 1) АСДФ – anterior cervical discectomy and fusion (передняя шейная дискэктомия с межтеловым имплантатом и фиксацией пластиной), 2) АССФ – anterior cervical corpectomy and fusion (передняя шейная корпэктомия с межтеловым имплантатом и фиксацией пластиной), 3) ТПФ – транспедикулярная фиксация с использованием авторского фиксатора. И передняя и задняя фиксация была выполнена пяти больным. Показанием для выполнения ТПФ у этих пациентов являлся несостоятельный передний

спондилодез.

Статистический анализ был проведен с использованием данных всех включённых в исследование пациентов, которые были систематизированы при помощи табличного редактора Microsoft Excel 2007. При этом учитывали: 1) тип повреждения по классификации С. Argenson et al., 1994 г. [2] (А □ компрессионные повреждения, В □ флексионно-экстензионно-дистракционные повреждения, С □ ротационные повреждения), 2) дислокация (сдвиговое смещение краниального позвонка в мм) до и после операции, 3) ангуляция (угловая деформация между соседними позвонками) в градусах до и после операции, 4) баллы по шкале subaxial injury classification (SLIC); 5) балл по шкале JOAm до и после операции; 6) продолжительность операции (мин.), 7) кровопотеря во время операции (мл), 8) продолжительность искусственной вентиляции лёгких (ИВЛ), 9) количество дней в отделении реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ), 10) индекс восстановления неврологических функций RR – recovery rate (%), вычисленный по формуле Hirobayashi, 11) продолжительность госпитализации (дни), 12) осложнения, связанные с течением травматической болезни спинного мозга и осложнения, связанные с проведением оперативного вмешательства, 13) результат по шкале клинических исходов Odom.

Для описания имеющейся выборки использовалась такая величина описательной статистики, как среднее арифметическое значение показателя. Данное значение определено с учётом доверительного интервала при уровне значимости  $\alpha=0,05$ . Доверительный интервал представляет собой диапазон значений, (где  $\Delta$  – предельная ошибка среднего), который с вероятностью 95% включает в себя настоящее популяционное значение [3].

Достоверность различий между средними величинами двух выборок оценивали с помощью встроенной функции СТЬЮДЕНТ.ТЕСТ. Microsoft EXCEL 2007. Данная функция возвращает значение ошибки первого рода (p). Если данное значение менее 0,05, то можно сделать вывод о том, что наблюдаемые различия в выборках статистически значимы, то есть могут быть следствием неслучайных различий между двумя видами лечения [4].

## Результаты и обсуждение

Так как статистическому анализу подвергнуты выборки малого объема, они были проверены на нормальность распределения признака путем сравнения среднего значения, медианы и моды. Если мода, медиана и среднее значение совпадают, значит, имеется нормальное распределение признака. В нашем исследовании данные значения выборки совпадают, таким образом, делаем вывод, что

**Таблица 1. Средние значения ангуляции, дислокации, степени миелопатии и индекса восстановления пациентов в зависимости от вида повреждения по классификации С. Argenson et al.**

Тип повреждения		Дислокация, мм	Ангуляция, °	JOAm, баллы	RR, %
Тип А (n=6)	До операции	5,20±2,22	16,20±7,62	10,20±6,65	-
	После операции	1,50±1,50	1,40±1,40	13,20±4,51	49,39±37,6
Тип В (n=32)	До операции	6,25±1,4	19,13±3,20	8,34±2,3	-
	После операции	1,69±1,22	5,92±2,82	10,31±2,17	33,20±10,97
Тип С (n=6)	До операции	3,60±1,11	11,80±2,4	16,20±2,54	-
	После операции	0,8±0,8	2,0±2,00	17,40±1,67	68,00±36,62

Примечание: JOAm – Japanese orthopedic association scale (modified) – шкала оценки вертеброгенной шейной миелопатии, предложенная японской ассоциацией ортопедов, модифицированная E.C. Benzel для европейского населения. RR – индекс восстановления, вычисленный по формуле Hirobayashi.  $RR = (mJOA_{postoper} - mJOA_{preoper}) / 18 - mJOA_{preoper} \times 100$ .

**Таблица 2. Показатели лечения пациентов в зависимости от вида субаксиальной травмы согласно классификации С. Argenson et al.**

Показатели	Тип А (n=6)	Тип В (n=32)	Тип С (n=6)
ИВЛ, часы	61,40±60,03	304,63±161,21	111,6±111,6
ОРИТ, дни	3,80±3,76	15,25±7,28	8,20±8,20
Госпитализация, дни	18,80±8,6	26,91±8,78	20,20±14,74

выборки имеют нормальное распределение признака.

Наименьшие средние показатели дислокации и ангуляции были выявлены у пострадавших с ротационными повреждениями, т.е. с повреждениями типа С по классификации С. Argenson et al., 1994 г. Этому же типу повреждения соответствовали наибольшие показатели по шкале JOAm, и наибольшие значения индекса восстановления RR (табл. 1).

Худшие показатели наблюдаемые у больных с типом повреждения В свидетельствуют о том, что флексионно-экстензионно-дистракционные повреждения были самыми тяжёлыми и давали худшие результаты восстановления. Аналогичные показатели сагиттального смещения и ангуляции были зафиксированы в работе Рериха В.В. и Ластевского А.Д. в 2007г. [5].

Наименьшие показатели пребывания в стационаре, в отделении ОРИТ и на ИВЛ отмечались у пострадавших с компрессионными повреждениями, а наибольшие □ с флексионно-экстензионно-дистракционными (табл. 2).

Среди больных с субаксиальной травмой (n=44), осложнения, связанные с течением травматической болезни спинного мозга, наблюдались только при повреждении типа В, гнойная пневмония была диагностирована у 4 (9,0%) человек, синдром полиорганной недостаточности был установлен 5 (11,0%) больным, трахеопищеводный свищ был у 2 (4,5%) больных, тромбоз вен нижних конечностей осложнял восстановление 2 (4,5%) пациентам, тромбоз эмболия лёгочной артерии была зафиксирована в 1

(2,3%) случае, а гнойный уретрит □ в 2 (4,5%) случаях.

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что среди субаксиальной травмы повреждения типа В по классификации С. Argenson et al. являются наиболее тяжёлыми. Двусторонние вывихи шейных позвонков приводят к выраженной нестабильности в травмированном сегменте и осложняются более тяжёлым поражением неврологических структур, включая компрессию спинного мозга, что потребовало более длительного восстановления [6].

Послеоперационные значения дислокации и ангуляции были наименьшими при выполнении ТПФ, но данные оперативные вмешательства были наиболее продолжительными и вели к наибольшей кровопотере (табл. 3).

Методика передней стабилизации отличалась относительно малой травматичностью для пациента. Кровопотеря при ACDF была статистически значимо ниже, чем при ТПФ (p=0,002). Однако в послеоперационном периоде у пациентов после ТПФ не зафиксирована потеря коррекции деформации позвоночника, по сравнению с пациентами, перенесшими переднюю стабилизацию. Ангуляция после проведения ТПФ оказалась достоверно меньше (p=0,003), чем после операции, выполненной по методике ACDF.

Среди операций, выполненных методом передней стабилизации (n=42), наиболее частым осложнением стала несостоятельность фиксации, повлекшая потерю коррекции деформации. Данный вид осложнения возник у пяти

Таблица 3. Средние показатели ортопедической коррекции, продолжительности операций и операционной кровопотери при различных видах фиксации

Показатели	ACDF (n=28)		ACCF (n=14)		ТПФ (n=12)	
	До операции	После операции	До операции	После операции	До операции	После операции
Дислокация, мм	6,39±1,67	1,64±1,47	5,36±1,75	2,54±2,31	7,08±3,16	1,0±0,92
Ангуляция, °	17,46±3,57	4,48±2,16	18,23±3,2	6,14±5,78	23,50±9,2	0,75±1,12
длительность операции, мин	101,32±16,49		163,93±40,07		295,00±48,73	
Кровопотеря, мл	71,43±24,74		221,43±153,48		466,67±225,18	

Таблица 4. Показатели лечения пациентов с различными видами фиксации

Показатели	ACDF		ACCF		ТПФ	
	ЮAm 1-10 (n=12)	ЮAm 11-18 (n=16)	ЮAm 1-10 (n=10)	ЮAm 11-18 (n=4)	ЮAm 1-10 (n=7)	ЮAm 11-18 (n=5)
величина RR (%)	17,68±10,08	73,33±15,11	17,3±10,94	75,00±37,51	18,30±13,71	76,2±28,51
	p=0,0001		p=0,04		p=0,002	
ИВЛ (часы)	497,25±253,47	42,00±41,0	429,0±416,03	12,50±10,40	378,8±287,09	8,8±4,42
	p=0,002		p=0,04		p=0,01	
ОРИТ (дни)	25,00±12,57	3,44±3,4	19,8±17,12	1,11±0,61	17,57±11,26	1,60±0,68
	p=0,003		p=0,03		p=0,01	
госпитализация (дни)	35,00±16,58	13,50±5,47	37,8±19,34	11,50±9,41	20,86±11,72	12,0±4,65

пациентов с крайне нестабильным повреждением типа В3 по классификации С. Argenson et al. (11,9%). Вывих не был устранён у 4 пациентов (9,5%), неудовлетворительное стояние фиксатора при нормальной оси позвоночника имелось у 4 пациентов (9,5%), ранение пищевода было у 2 больных (4,7%).

Среди операций, выполненных методом ТПФ (n=12), ранение позвоночной артерии возникло в одном случае (8,3%), кровотечение остановлено воском, что не привело к нарастанию неврологического дефицита, инфицирование раны наблюдалось у 1 пациента (8,3%), данному больному была выполнена ревизионная операция с наложением вторичных швов и сохранением металлоконструкции.

Для адекватного сравнения результатов лечения пострадавших с различными методами фиксации, больных внутри каждой группы (ACDF, ACCF, ТПФ) разделили на две подгруппы. Пострадавшие с тяжёлой миелопатией имели до операции 1-10 баллов по шкале ЮAm, пациенты с умеренной миелопатией □ 11-18 баллов по этой же шкале (табл.4).

При анализе полученных данных выявлено, что индекс восстановления у лиц с тяжёлой миелопатией при поступлении значительно ниже индекса восстановления у

пациентов с умеренной миелопатией (p=0,0001 при ACDF, p=0,04 при ACCF, p=0,002 при ТПФ). Больные с тяжёлой миелопатией достоверно дольше находились в отделении реанимации и на ИВЛ, у данных больных чаще развивались осложнения, связанные с течением травматической болезни спинного мозга.

При сравнении однородных подгрупп не выявлено статистически значимой разницы между RR, продолжительностью ИВЛ, продолжительностью пребывания в ОРИТ у пациентов, которым выполнен тот или иной вид спондилодеза (p>0,05).

У пациентов с тяжёлой миелопатией показатель ангуляции после операции ТПФ был меньше, чем после ACDF (p=0,047) и меньше, чем после ACCF (p=0,05).

При анализе клинических исходов с помощью шкалы Odom, выяснилось, что пациенты, поступившие в стационар с клиникой тяжёлой миелопатии имели отличный и хороший результат лечения в 20,0%-43,0% случаев, а больные с умеренной миелопатией при поступлении имели отличный и хороший результат лечения в 75,0%-100% случаев (табл. 5).

Среди пострадавших с тяжёлой миелопатией, перенесших переднюю стабилизацию позвоночника, неудов-

Таблица 5. Показатели клинических исходов в соответствии со шкалой Odom.

		Отличный результат, %	Хороший результат, %	Удовлетворительный результат, %	Неудовлетворительный результат, %
АСДФ (n=28)	Пациенты с тяжёлой миелопатией (n=12)	0,00	25,00 (n=3)	50,00 (n=6)	25,00 (n=3)
	Пациенты с умеренной миелопатией (n=16)	31,25 (n=5)	43,75 (n=7)	18,75 (n=3)	6,25 (n=1)
АССФ (n=14)	Пациенты с тяжёлой миелопатией (n=10)	0,00	20,00 (n=2)	50,00 (n=5)	30,00 (n=3)
	Пациенты с умеренной миелопатией (n=4)	25,00 (n=1)	75,00 (n=3)	0,00	0,00
ТПФ (n=12)	Пациенты с тяжёлой миелопатией (n=7)	0	42,85 (n=3)	42,85 (n=3)	14,3 (n=1)
	Пациенты с умеренной миелопатией (n=5)	40,00 (n=2)	60,00 (n=3)	0,00	0,00

Примечание: пациенты с тяжёлой миелопатией - 1-10 баллов по JOAm до операции. Пациенты с умеренной миелопатией - 11-18 баллов по JOAm до операции.

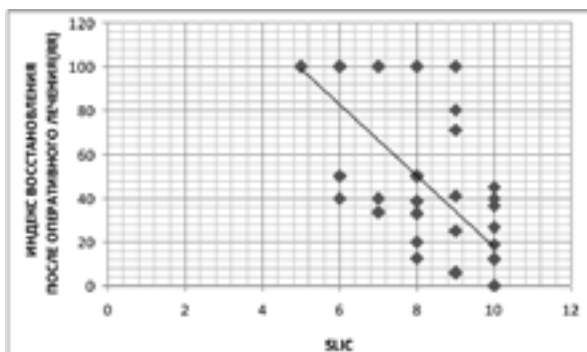


Рис. 1. Графическое представление корреляционной зависимости между баллами по шкале SLIC и индексом восстановления неврологических функций (RR).

летворительный результат отмечен в 25,0%-30,0% случаев. У больных с тяжёлой миелопатией, перенесших ТПФ, частота неудовлетворительных результатов равнялась 14,3%.

Установлена высокая обратная корреляционная зависимость между тяжестью повреждения ШОП по шкале SLIC и индексом восстановления неврологических функций RR ( $r = -0,75$ ), рисунок 1.

Выявлена выраженная корреляционная зависимость между показателем тяжести миелопатии по шкале JOAm до операции и после операции ( $r = 0,95$ ), это означает, что чем меньше степень миелопатии до операции, тем выше уровень восстановления неврологических функций после операции (рис. 2).

Показатели длительности операции и кровопотери при ней также значимо коррелировали между собой ( $r =$

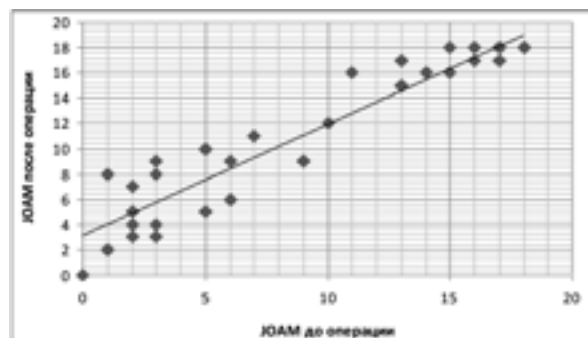


Рис. 2. Графическое представление корреляционной зависимости между JOAm до операции и JOAm после операции.

0,81) (рис. 3).

Во всех случаях корреляционная связь существенна на уровне значимости альфа = 0,01 (т.е. с вероятностью 99%) [7].

Обсуждение. Повреждения типа В3 по классификации С. Argenson et al. являются наиболее тяжёлыми. Двусторонние вывихи шейных позвонков приводят к выраженной нестабильности в травмированном позвоночно-двигательном сегменте и осложняются более тяжёлым повреждением спинного мозга, что требует более длительного восстановления.

Наиболее значимым фактором риска развития послеоперационной нестабильности является повреждение всех трёх опорных колонн позвоночного столба, что необходимо учитывать при предоперационном планировании [8].

Несмотря на то, что в исследовании не выявлены статистически значимые различия между показателями коэффициента восстановления (RR), длительности нахождения в ОРИТ и на ИВЛ в однородных подгруппах пациентов, оперированных разными методами фиксации, можно заключить, что ТПФ, с ортопедической точки зрения, надёжнее, чем передний спондилодез. Ангуляция после проведения ТПФ оказалась достоверно меньше ( $p=0,003$ ), чем после операции, выполненной по методике ACDF. Полученные результаты подтверждают биомеханические исследования на кадаверных материалах и на физических моделях [9,10,11].

## Заключение

Методики передней стабилизации и ТПФ показали свои плюсы и минусы. Передняя стабилизация позвоночника менее травматична для пациента. В то же время, несостоятельность фиксации и потеря коррекции деформации позвоночника при переднем спондилодезе отмечается чаще, чем при ТПФ. Данный факт подтверждает биомеханические исследования на кадаверных материалах, где доказана надёжная стабилизация трёх колонн позвоночного столба при транспедикулярной фиксации [12,13,14]. Стабилизация травмированных позвоночно-двигательных сегментов с использованием ТПФ позволяет отказаться от проведения внешней иммобилизации, обеспечить условия для ранней двигательной реабилитации пациентов с патологией на уровне ШОП. ■

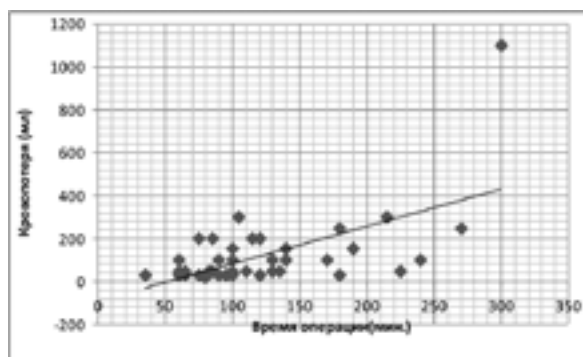


Рис. 3. Графическое представление корреляционной зависимости между кровопотерей во время операции и длительностью операции.

**Борисова Ольга Алексеевна** - врач-нейрохирург, нейрохирургическое отделение, ГБУЗ Тюменская областная клиническая больница №2, г. Тюмень, Россия. **Сергеев Константин Сергеевич**, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой травматологии и ортопедии с курсом детской травматологии ИНПР, ФГБОУ ВО Тюменский государственный медицинский университет, г. Тюмень, Россия. **Спиридонова Наталья Александровна**, старший преподаватель кафедры строительной механики, ФГБОУ ВО Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия. **Лебедев Илья Аркадьевич** - д.м.н., доцент кафедры неврологии и нейрохирургии ИНПР ФГБОУ ВО Тюменский ГМУ Минздрава России, г. Тюмень. Адрес для переписки: 625023, Россия, г. Тюмень ул. Одесская д.54

## Литература:

1. Островский В. В., Щаницын И. Н., Бажанов С. П., Федонников А. С. Комплексная оценка исходов операций на шейном отделе позвоночника // Саратовский научно-медицинский журнал 2017; 13 (2): 266–273.
2. Рерих В.В., Ластевский А.Д., Аникин К.А., Травма нижнешейного отдела позвоночника: Клинические рекомендации. Новосибирск: ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л.Цивьяна» МЗ РФ, 2013. С. 8-10.
3. Кочетов, А.Г., Лянз О.В., Масенко В.П., Жиров И.В., Наконечников С.Н., Терещенко С.Н. Методы статистической обработки медицинских данных: Методические рекомендации для ординаторов и аспирантов медицинских учебных заведений, научных работников. М.: РКНПК, 2012. С. 8.
4. Глушанко, В.С., Грузневич А.П., Гараничева С.Л., Аляхнович Н.С., Колбасич Л.П. Основы медицинской статистики: учеб.-метод. пособие. Витебск: ВГМУ, 2012. 155 с.
5. Рерих В.В., Ластевский А.Д. Хирургическое лечение поврежденной нижнешейного отдела позвоночника.// Хирургия позвоночника. 2007. №1. С.13-20.
6. Bucci, M.N., Dauser R.C., Maynard F.A., Hoff J.T. Management of posttraumatic cervical spine instability: operative fusion versus halo vest immobilization. Analysis of 49 cases. // J Trauma. 1988. Vol.28. P. 1001 – 1006.
7. Фёрстер Э., Рёнц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа. Перевод с немецкого и предисловие В. М. Ивановой, М.: "Финансы и статистика", 1983 г. 304 с.
8. Гринь, А. А., Касаткин Д.С. Несостоятельная фиксация шейного отдела позвоночника при его травмах и заболеваниях // Клиническая практика. 2017. № 2. С. 49–55.
9. Duff J, Hussain MM, Klocke N, et al. Does pedicle screw fixation of the subaxial cervical spine provide adequate stabilization in a multilevel vertebral body fracture model? An in vitro biomechanical study // Clinical Biomechanics. 2018. №53. P. 72–78.
10. Dunlap BJ, Karaićković EE, Park HS, et al. Load sharing properties of cervical pedicle screw-rod constructs versus lateral mass screw-rod constructs // Eur Spine. 2010. №19. P. 803–808.
11. Борисова О.А., Сергеев К.С., Спиридонова Н.А. Исследование прочностных характеристик систем для транспедикулярной фиксации шейного отдела позвоночника // Травматология и ортопедия. 2019. 49-50. С. 257-261
12. Karam Y, Dahdaleh N, Magnetta M, et al. Biomechanical comparison of anterior, posterior, and circumferential fixation after one-level anterior cervical corpectomy in the human cadaveric spine // Spine. 2011. Vol. 36, №7. P. 455–460.
13. Kotani Y, Cunningham BW, Abumi K, et al. Biomechanical analysis of cervical stabilization systems // Spine. 1994. №19. P.2529–2539.
14. Schmidt R, Wilke HJ, Richter M. Pedicle screws enhance primary stability in multilevel cervical corpectomies: biomechanical In Vitro comparison of different implants including constrained and unconstrained posterior instrumentations // Spine. 2003. Vol. 28, №16. P.1821–1828.