

ВЛИЯНИЕ ПОЗВОНОЧНО-ТАЗОВЫХ ПАРАМЕТРОВ НА РАЗВИТИЕ НЕСТАБИЛЬНОСТИ СМЕЖНОГО СЕГМЕНТА ПОСЛЕ ОДНОУРОВНЕВОГО СПОНДИЛОДЕЗА В ПОЯСНИЧНОМ ОТДЕЛЕ ПОЗВОНОЧНИКА

Масевнин С.В.¹, Пташников Д.А.¹, Волков И.В.¹

¹ФГБУ «РНИИТО им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, Санкт-Петербург, e-mail: ivanvolkov@yandex.ru

Цель исследования – определение влияния послеоперационных позвоночно-тазовых параметров на развитие нестабильности на смежном уровне после одноуровневого спондилодеза в поясничном отделе позвоночника. Исследованы результаты лечения 116 пациентов, оперированных по поводу дегенеративно-дистрофической патологии и разделенных на 2 группы. I группа состояла из 24 пациентов с признаками нестабильности смежного уровня, II группа – из 92 пациентов без нестабильности с периодом наблюдения не менее 24 месяцев. Среднее значение поясничного лордоза (LL – lumbar lordosis) в обеих группах находилось в пределах нормативов ($60,9^\circ \pm 12^\circ$) без достоверных различий между группами ($56,3^\circ \pm 12,1^\circ$ и $58,4^\circ \pm 11,2^\circ$ для I и II группы соответственно, $p=0,314$). У пациентов I группы среднее значение тазового угла (PI – pelvic incidence) достоверно отличалось от средних показателей пациентов II группы ($70,4^\circ \pm 7,6^\circ$ и $53,2^\circ \pm 8,4^\circ$ соответственно, $p=0,006$) и от нормативных величин ($51,9^\circ \pm 10^\circ$). Как следствие, средний показатель разницы тазового угла и поясничного лордоза (PI-LL) в I группе был достоверно выше ($16,2^\circ \pm 5,4^\circ$ и $4,8^\circ \pm 8,6^\circ$ соответственно, $p=0,004$). При этом значимые нарушения разницы тазового угла и поясничного лордоза ($PI-LL \geq 10^\circ$) у пациентов I группы наблюдались в 22 случаях (91,7%), у пациентов II группы – в 11 случаях (11,95%). По данным регрессионного анализа показатель PI-LL определен как фактор риска развития нестабильности смежного сегмента с отношением шансов 4,2 с 95%-ным доверительным интервалом 1,46–12,25 и $p=0,007$. Вывод: пациенты с высоким PI и недостатком LL (выражаемым показателем PI-LL) имеют более высокие риски развития нестабильности смежного уровня после поясничного спондилодеза.

Ключевые слова: поясничный спондилодез, болезнь смежного уровня, позвоночно-тазовые параметры, сагиттальный баланс позвоночника, фиксация позвоночника, нестабильность позвоночника

INFLUENCE OF SPINOPELVIC PARAMETERS ON THE DEVELOPMENT OF THE ADJACENT SEGMENT INSTABILITY AFTER ONE-LEVEL LUMBAR SPONDYLODESIS

Masevnin S.V.¹, Ptashnikov D.A.¹, Volkov I.V.¹

¹Russian scientific research institute of traumatology and orthopedics named after R.R. Vreden, St. Petersburg, e-mail: ivanvolkov@yandex.ru

The purpose of the study is to determine the impact of postoperative spinopelvic parameters on the development of adjacent segment instability after one-level lumbar spondylodesis. 116 patients with degenerative spine conditions after lumbar fusion were included and subdivided into 2 groups. Group I consisted of 24 patients with signs of instability in adjacent segment, Group II included 92 patients with no signs of instability, a minimum follow-up period was 24 months. The mean value of postoperative lumbar lordosis (LL) in both groups was in normal range ($-60.9^\circ \pm 12^\circ$) and did not have statistically significant difference between two groups ($56.3^\circ \pm 12.1^\circ$ and $58.4^\circ \pm 11, 2^\circ$, respectively, $p=0,314$). In patients of Group I the mean postoperative pelvic incidence (PI) significantly differed from the mean PI in patients of Group II ($70.4^\circ \pm 7.6^\circ$ and $53.2^\circ \pm 8.4^\circ$, respectively, $p=0,006$) and from normative values according ($51.9^\circ \pm 10^\circ$). Consequently, the mean difference between PI and LL (PI-LL) in the first group was significantly higher than in the second group ($16.2^\circ \pm 5.4^\circ$ and $4.8^\circ \pm 8.6^\circ$, respectively $p=0,004$). Significant PI-LL mismatch ($PI-LL \geq 10^\circ$) were observed in 22 patients (91.7%) in group I, and 11 patients (12 %) in group II. After regression analysis PI-LL mismatch has been identified as a risk factor for adjacent instability with odds ratio 4,2, 95 % confidence interval 1,46-12,25 and $p = 0,007$. Conclusion: patients with a high PI and low LL with PI-LL mismatch have a significantly higher risk of the adjacent segment instability after short segment spinal fusion.

Keywords: lumbar fusion, adjacent segment disease, spinopelvic parameters, sagittal balance, spinal fixation, spinal instability

В настоящее время хирургический подход является основным в лечении пациентов с выраженной дегенеративно-дистрофической патологией поясничного отдела позвоночника.

Основными задачами оперативного лечения являются декомпрессия структур позвоночного канала и устранение или профилактика развития нестабильности позвоночно-двигательных сегментов (ПДС). Наиболее распространенными методами стабилизации являются межтеловой спондилодез из заднего доступа и транспедикулярная фиксация. Несмотря на успешно проведенный спондилодез, имеется определенный риск неудовлетворительных результатов хирургического лечения в отдаленном периоде, значительная часть которых связана с развитием или быстрым прогрессированием дегенеративной патологии в смежном сегменте. Болезнь смежного сегмента в некоторых случаях требует повторного оперативного лечения с увеличением протяженности инструментальной фиксации, нестабильность смежного ПДС является основным хирургически значимым видом такой патологии. Описано и обсуждается множество факторов, способствующих появлению и прогрессивному развитию дегенеративных изменений в смежном с фиксируемым сегменте, которые можно разделить на две основные категории: факторы, связанные с пациентами и не зависящие от врача, и хирургические факторы, на которые непосредственно может влиять врач во время операции [1, 2]. Несмотря на большое количество факторов риска развития дегенеративных изменений в смежных ПДС, нет единого мнения о том, какие из них имеют решающее значение [3, 4]. Наиболее актуальной проблемой, широко обсуждаемой в современной литературе, является влияние сагиттального дисбаланса и нарушений позвоночно-тазовых соотношений на особенности развития дегенеративной патологии и прогноз результатов их оперативного лечения [5, 6], но работы, в которых исследуется развитие дегенеративной патологии в смежном сегменте, представлены в единичных случаях. Так, в ретроспективных исследованиях M. Senteler et al. [7], и D. A. Rothenfluh et al. [8] было показано, что нарушение позвоночно-тазовых параметров приводит к раннему развитию синдрома смежного уровня. Однако судить об истинном значении показателей баланса можно лишь на основании изолированного изучения в отсутствие прочих факторов риска, а именно таких работ проведено не было. Цель исследования – определение влияния послеоперационных позвоночно-тазовых параметров на развитие нестабильности на смежном уровне после одноуровневого спондилодеза в поясничном отделе позвоночника.

Материалы и методы исследования. Проведено ретроспективное обследование 148 пациентов с различными видами дегенеративно-дистрофических заболеваний поясничного отдела позвоночника, которым был выполнен одноуровневый трансфораминальный межтеловой спондилодез с транспедикулярной фиксацией в период с 2006 по 2013 гг. Всем пациентам хирургические вмешательства проводились с использованием межтеловых кейджей и ригидных систем транспедикулярной фиксации.

Во всех случаях предварительно производилась оценка результатов клинического и

лучевого обследования.

При первичной оценке производилось исключение из дальнейшего анализа пациентов, имеющих наиболее обсуждаемые в литературе факторы риска развития дегенеративной патологии смежного уровня. К таким факторам относились избыточная масса тела с индексом массы тела 30 и более, выраженность дегенеративных изменений смежных сегментов перед выполняемым вмешательством IV и более степени по классификации C.W. Pfirrmann et al. [9], а также наличие выраженных нарушений глобального сагиттального баланса. Пациенты с признаками прогрессирования смежной дегенеративной патологии в виде спондилоартроза и стеноза позвоночного канала, а также с псевдоартрозом или инфекционными осложнениями были исключены из исследования.

В результате предварительного отбора была сформирована когорта из 116 пациентов. Наличие нестабильности в смежных сегментах оценивалось по результатам функциональных рентгенограмм поясничного отдела в боковой проекции с максимальным сгибанием и разгибанием через 12 и 24 месяца после оперативного лечения или при возникновении болевого синдрома. По результатам анализа рентгенограмм пациенты были разделены на две группы. В I группу вошли 24 пациента с признаками нестабильности смежных сегментов, в II группу вошли 92 пациента без признаков нестабильности. Исследуемые и анализируемые показатели позвоночно-тазовых отношений оценивались по данным статичной рентгенографии в положении стоя в боковой проекции. Измерялись значения поясничного лордоза (LL, Lumbar Lordosis), наклона таза (PT, Pelvic Tilt) и тазового угла (PI, Pelvic Incidence), наклона крестца (SS, Sacral Slope) и сагиттальной вертикальной оси (Sagittal Vertical Axis), рассчитывалась разница показателей тазового угла и поясничного лордоза (PI-LL). В качестве нормативных использовались средние величины показателей по данным основополагающих работ по проблемам сагиттального баланса [5, 6]

Статистическую обработку данных проводили с использованием методов непараметрической статистики, множественной логистической регрессии и ROC анализа, исследовалась взаимосвязь послеоперационных позвоночно-тазовых параметров и факта наличия нестабильности смежного сегмента.

Результаты исследования. При сравнении исследуемых показателей выявлены достоверные межгрупповые различия для PI, PT и PI-LL, средние значения показателей, нормативные величины и данные сравнительного анализа представлены в таблице 1. У пациентов I группы среднее значение величины тазового угла было достоверно выше, чем у пациентов II группы, и значительно превышало условные нормативные величины. Средние значения показателей наклона таза и наклона крестца были также достоверно выше в группе пациентов с нестабильностью смежного сегмента, они превышали средние контрольные

значения. Показатель PI является индивидуальной анатомической константой, предопределяющей остальные позвоночно-тазовые отношения, в том числе PT, SS и LL, с прямой пропорциональной зависимостью. Следовательно, для I группы пациентов с нестабильностью смежного сегмента было более характерно наличие высокого PI с закономерно более высокими PT и SS, но одновременно средние значения поясничного лордоза в обеих группах находились в пределах нормативов и не имели достоверных различий. Как следствие, среднее значение разницы показателей PI-LL в I группе было достоверно выше, чем во II группе, и превышало диапазон нормы, значительное несоответствие величин тазового угла и поясничного лордоза ($PI-LL \geq 10^\circ$) имело место в 91,7% случаев.

Таблица 1

Средние значения позвоночно-тазовых показателей в исследуемых группах

Факторы риска	Группа I (n=24)	Группа II (n=92)	p*	Нормативные величины
PI	$70,4^\circ \pm 7,6^\circ$	$53,2^\circ \pm 8,4^\circ$	0,006	$51,9^\circ \pm 10^\circ$
PT	$18,2^\circ \pm 7,1^\circ$	$13,3^\circ \pm 8,3^\circ$	0,044	$13^\circ \pm 6^\circ$
SS	$51,7^\circ \pm 9,4^\circ$	$42,3^\circ \pm 6,9^\circ$	0,001	$41^\circ \pm 8^\circ$
LL	$-56,3^\circ \pm 12,1^\circ$	$-58,4^\circ \pm 11,2^\circ$	0,314	$-60,9^\circ \pm 12^\circ$
PI-LL	$16,2^\circ \pm 5,4^\circ$	$4,8^\circ \pm 8,6^\circ$	0,004	$-8^\circ \pm 9^\circ$
SVA	42 ± 14 мм	38 ± 17 мм	0,146	$-0,5 \pm 25$ мм
$PI-LL \geq 10^\circ$	91,7%	12%	0,001	

* – уровень значимости межгрупповых различий по W-критерию Уилкоксона.

Посредством бинарного логистического регрессионного анализа была проведена оценка взаимосвязи исследуемых факторов и факта развития нестабильности смежного сегмента, результаты представлены в таблице 2. Значимое влияние на развитие нестабильности смежного ПДС оказывал только показатель разницы тазового угла и поясничного лордоза (PI-LL) с отношением шансов 4,2 при 95%-ном доверительном интервале 1,46–12,25, $p=0,007$.

Таблица 2

Бинарный логистический регрессионный анализ позвоночно-тазовых параметров и нестабильности смежного сегмента.

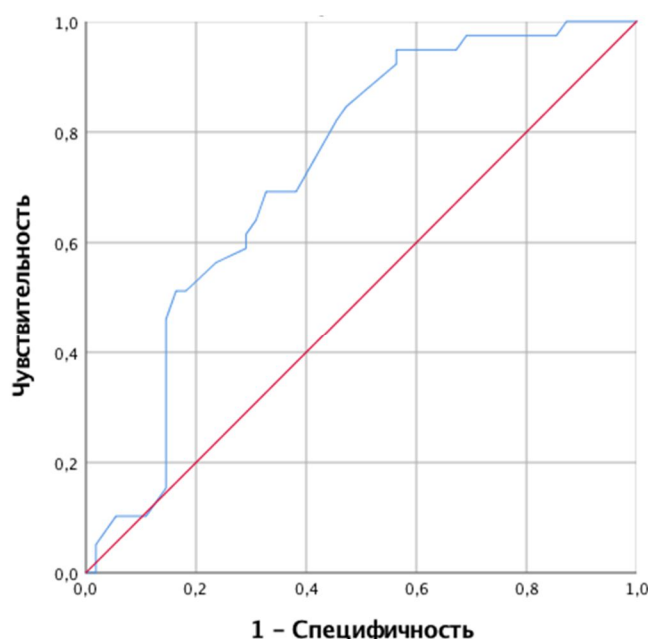
Фактор риска	p*	ОШ (95% ДИ)**
PI	0,067	1,2 (0,92–1,65)

PT	0,087	1,1 (0,96–1,45)
SS	0,072	1,36 (0,83–1,61)
LL	0,112	0,91 (0,82–1,13)
PI-LL	0,007	4,2 (1,46–12,25)
SVA	0,319	0,76 (0,62–1,34)

* – уровень значимости регрессионных коэффициентов

** – отношение шансов (95%-ный доверительный интервал)

На основании анализа регрессионной модели, рассчитанной для показателя PI-LL, при превышении порога в 12° вероятность развития нестабильности смежного уровня превышала 0,5, а отношение шансов было выше 1. Расчетные показатели качества полученной модели – чувствительность 63,5%, специфичность 70,8%, корректно распознано моделью 67,2%. При ROC анализе с построением ROC кривой также получено подтверждение диагностического значения показателя PI-LL: расчетная площадь под кривой 0,730 при 95%-ном доверительном интервале 0,628–0,831, результаты проведенного анализа представлены на рисунке.



ROC кривая для показателя PI-LL

Обсуждение результатов. Спинальный сагиттальный баланс и полнота его коррекции во время операции являются наиболее важными факторами, влияющими на исходы оперативного лечения дегенеративно-дистрофических заболеваний позвоночника. В первую очередь это относится к результатам корригирующих хирургических вмешательств, выполняемых по поводу дегенеративных деформаций позвоночника [10, 11], однако ряд работ демонстрирует влияние коррекции баланса и на выполнение менее обширных

операций по поводу дегенеративных стенозов и спондилолистезов [12, 13]. При этом оценка и расчет необходимой коррекции глобального баланса зачастую проводятся лишь на основании величины поясничного лордоза и смещения сагиттальной вертикальной оси, в то время как предоперационное определение всех базовых позвоночно-тазовых параметров не является тривиальным исследованием и не всегда выполняется хирургами, особенно при формально нормальных показателях поясничного лордоза и SVA. Изолированная оценка тазовых параметров в свою очередь также не полностью отражает баланс и биомеханику позвоночника, объективно судить о компенсаторных ресурсах спинальных кривых возможно лишь на основании сочетанного анализа описанных показателей.

В настоящее время многочисленные биомеханические исследования подтверждают факт повышения нагрузки на вышележащий позвоночно-двигательный сегмент после ригидной фиксации в поясничном отделе позвоночника [14, 15]. Однако возникающая во всех случаях перегрузка смежных сегментов после спондилодеза ведет к развитию дегенеративных изменений лишь в определенном проценте случаев. К этому может приводить наличие таких факторов риска, как избыточная масса тела, предшествующие дегенеративные изменения межпозвонкового диска и положительный сагиттальный дисбаланс [1, 2]. В настоящем исследовании было минимизировано влияние указанных факторов риска за счет исключения из анализа пациентов с соответствующей конституцией или лучевыми изменениями, в результате рентгенологические признаки нестабильности вышележащего ПДС после одноуровневой фиксации поясничного отдела были выявлены у 24 пациентов из 116 (20,69% случаев).

Развитие болезни смежного сегмента хорошо объясняется с позиций теории сагиттального баланса, а именно особенностей позвоночно-тазовых отношений [5]. Тазовый угол является индивидуальной анатомической константой, не меняющейся в течение жизни или при развитии патологии и не имеющей «патологических» значений. В свою очередь значение тазового угла является суммой углов наклона таза и крестца ($PI=PT+SS$), а также предопределяет поясничный лордоз и грудной кифоз. При увеличении значения базового индекса таз увеличивает наклон вперед, а крестец располагается более горизонтально, что требует закономерного увеличения поясничного лордоза и грудного кифоза для сохранения вертикального положения тела с минимальными энергетическими затратами, то есть для поддержания сагиттального баланса. В противоположной ситуации, при уменьшении показателя PI происходит поворот таза кзади с вертикализацией крестца и соответствующим снижением PT, SS и компенсаторным уменьшением LL. Таким образом, «нормальность» показателей PT, SS и LL может быть определена только по отношению к данному PI, величины имеют значительную вариабельность, разброс средних значений величин

превышает 10° . Значения всех показателей, кроме PI, изменяются за счет возрастных изменений и/или при развитии патологического процесса, уменьшение выраженности поясничного лордоза является закономерным следствием дегенеративного процесса с асимметричным снижением высоты межпозвонковых дисков. При уменьшении лордоза для сохранения баланса включается ряд последовательных компенсаторных механизмов, среди которых гиперлордоз в поясничных сегментах и гипокифоз в грудных сегментах (при условии сохранения остаточной подвижности и функциональных возможностей паравертебральных мышц) и ретроверзия таза с относительным увеличением наклона таза и уменьшением наклона крестца (при условии сохранения функциональных возможностей тазобедренных суставов). С учетом упомянутой вариабельности абсолютных значений позвоночно-тазовых показателей переход к относительным значениям позволяет нивелировать этот разброс, а первичность уменьшения лордоза при константном показателе тазового угла делает разность PI и LL потенциально наиболее информативным показателем.

При фиксации позвоночника без адекватного восстановления лордоза (по отношению к PI) именно компенсаторный сегментарный гиперлордоз в смежных сегментах и может являться дополнительной причиной развития болезни смежного сегмента. M. Senteler et al. [7] в биомеханическом исследовании показывает, что относительная величина поясничного лордоза коррелирует с величиной нагрузки на межпозвонковые суставы в позвоночно-двигательных сегментах L3-L4 и L4-L5 и характеризует возможности позвоночника противостоять осевой нагрузке; перегрузка сегментов, смежных с фиксированным, в условиях низких компенсаторных возможностей позвоночника может приводить к ускоренному развитию дегенеративной патологии в них.

Недостаток поясничного лордоза в виде значения PI-LL более 9° после оперативного лечения дегенеративных деформаций достоверно коррелировал с негативными результатами операций [10]. В проведенном исследовании была выявлена достоверная взаимосвязь степени восстановления поясничного лордоза и вероятности развития нестабильности смежного ПДС при отсутствии прочих факторов риска. Закономерно, что абсолютные значения основных позвоночно-тазовых параметров, таких как наклон таза, наклон крестца или поясничный лордоз, а также значения базового тазового индекса PI не влияли на развитие этой патологии. Значимым был только относительный показатель PI-LL, при превышении порога в 12° вероятность развития смежной патологии была выше 50%. С учетом того, что индекс PI является индивидуальной анатомической константой, на изменение разницы PI-LL оказывает влияние только изменение величины поясничного лордоза, то есть его восстановление в ходе операции.

Заключение. По результатам проведенного исследования, после одноуровневого

спондилодеза межтелового спондилодеза задним доступом с транспедикулярной фиксацией по поводу дегенеративно-дистрофических заболеваний поясничного отдела позвоночника у пациентов имеется высокий риск развития дегенеративной патологии смежного сегмента при наличии нарушений позвоночно-тазовых соотношений. Основным фактором риска является значение показателя PI-LL после операции более 12°, которое должно рассматриваться как признак скрытой деформации позвоночника. Показатель PI-LL является самостоятельным прогностическим фактором и имеет значение в условиях отсутствия глобального дисбаланса позвоночника и дефицита поясничного лордоза, а также при отсутствии других факторов риска в виде выраженной смежной дегенерации или избытка массы тела.

Список литературы

1. Liang J., Dong Y., Zhao H. Risk factors for predicting symptomatic adjacent segment degeneration requiring surgery in patients after posterior lumbar fusion. *J. Orthop. Surg. Res.* 2014. Vol 9. DOI:10.1186/s13018-014-0097-0.
2. Kim J.Y., Ryu D.S., Paik H.K., Ahn S.S., Kang M.S., Kim K.H., Park J.Y., Chin D.K., Kim K.S., Cho Y.E., Kuh S.U. Paraspinal muscle, facet joint, and disc problems: risk factors for adjacent segment degeneration after lumbar fusion. *Spine J.* 2016. Vol. 16 (7). P. 867-875. DOI:10.1016/j.spinee.2016.03.010.
3. Ghasemi A.A. Adjacent segment degeneration after posterior lumbar fusion: An analysis of possible risk factors. *Clin. Neurol. Neurosurg.* 2016. Vol. 143. P. 15-18. DOI:10.1016/j.clineuro.2016.02.004.
4. Yamasaki K., Hoshino M., Omori K., Igarashi H., Nemoto Y., Tsuruta T., Matsumoto K., Iriuchishima T., Ajiro Y., Matsuzaki H. Risk Factors of Adjacent Segment Disease After Transforaminal Inter-Body Fusion for Degenerative Lumbar Disease. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2017. Vol. 42 (2). E86-e92. DOI: 10.1097/brs.0000000000001728.
5. Berthonnaud E., Dimnet J., Roussouly P., Labelle H. Analysis of the sagittal balance of the spine and pelvis using shape and orientation parameters. *J. Spinal Disord Tech.* 2005. Vol. 18 (1). P. 40-47. DOI:10.1097/01.bsd.0000117542.88865.77.
6. Lafage V., Schwab F., Skalli W., Hawkinson N., Gagey P.M., Ondra S., Farcy J.P. Standing balance and sagittal plane spinal deformity: analysis of spinopelvic and gravity line parameters. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2008. Vol. 33 (14). P. 1572-1578. DOI:10.1097/brs.0b013e31817886a2.
7. Senteler M., Weisse B., Snedeker J.G., Rothenfluh D.A. Pelvic incidence-lumbar lordosis mismatch results in increased segmental joint loads in the unfused and fused lumbar spine. *Eur. Spine J.* 2014. Vol. 23 (7). P. 1384-1393. DOI:10.1007/s00586-013-3132-7.

8. Rothenfluh D.A., Mueller D.A., Rothenfluh E., Min K. Pelvic incidence-lumbar lordosis mismatch predisposes to adjacent segment disease after lumbar spinal fusion. *Eur. Spine J.* 2015. Vol. 24 (6). P. 1251-1258. DOI:10.1007/s00586-014-3454-0.
9. Pfirrmann C.W., Metzdorf A., Zanetti M., Hodler J., Boos N. Magnetic resonance classification of lumbar intervertebral disc degeneration. *Spine.* 2001. Vol. 26 (17). P. 1873-1878. DOI: 10.1097/00007632-200109010-00011.
10. Schwab F., Patel A., Ungar B., Farcy J.P., Lafage V. Adult spinal deformity-postoperative standing imbalance: how much can you tolerate? An overview of key parameters in assessing alignment and planning corrective surgery. *Spine (Phila Pa 1976).* 2010. Vol. 35 (25). P. 2224-2231. DOI:10.1097/brs.0b013e3181ee6bd4.
11. Михайлов Д.А., Пташников Д.А., Масевнин С.В., Смекаленков О.А., Заборовский Н.С., Лапаева О.А., Мураби З. Результаты лечения пациентов пожилого и старческого возраста с дегенеративными деформациями и нестабильностью позвоночника // *Травматология и ортопедия России.* 2017. № 23 (2). С. 15-26. DOI:10.21823/2311-2905-2017-23-2-15-26.
12. Schulte T.L., Leistra F., Bullmann V., Osada N., Vieth V., Marquardt B., Lerner T., Liljenqvist U., Hackenberg L. Disc height reduction in adjacent segments and clinical outcome 10 years after lumbar 360° fusion. *Eur. Spine J.* 2007. Vol 16. P. 2152-2158. DOI:10.1007/s00586-007-0515-7.
13. Miyakoshi N., Abe E., Shimada Y., Okuyama K., Suzuki T., Sato K. Outcome of one-level posterior lumbar interbody fusion for spondylolisthesis and postoperative intervertebral disc degeneration adjacent to the fusion. *Spine (Phila Pa 1976).* 2000. Vol. 25 (14). P. 1837-1842. DOI:10.1097/00007632-200007150-00016.
14. Yan J.Z., Qiu G.X., Wu Z.H., Wang X.S., Xing Z.J. Finite element analysis in adjacent segment degeneration after lumbar fusion. *Int. J. Med. Robot.* 2011. Vol. 7 (1). P. 96-100. DOI:10.1002/rcs.374.
15. Harrop J.S., Youssef J.A., Maltenfort M., Vorwald P., Jabbour P., Bono C.M., Goldfarb N., Vaccaro A.R., Hilibrand A.S. Lumbar adjacent segment degeneration and disease after arthrodesis and total disc arthroplasty. *Spine (Phila Pa 1976).* 2008. Vol. 33 (15). P. 1701-1707. DOI:10.1097/brs.0b013e31817bb956.