



ПЛОТНОСТЬ КОСТНОЙ ТКАНИ ПОЗВОНКОВ В ЕДИНИЦАХ ХАУНСФИЛДА КАК ПРЕДИКТОР НЕСОСТОЯТЕЛЬНОСТИ МЕЖТЕЛОВОГО БЛОКА И ПРОСЕДАНИЯ ИМПЛАНТАТА ПРИ КРУГОВОМ ПОЯСНИЧНОМ СПОНДИЛОДЕЗЕ

О.Н. Леонова¹, Е.С. Байков¹, А.В. Пелеганчук², А.В. Крутько¹

¹Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии
им. Н.Н. Приорова, Москва, Россия

²Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии
им. Я.Л. Цивьяна, Новосибирск, Россия

Цель исследования. Определение значений единиц Хаунсфилда (НУ) поясничных позвонков, прогнозирующих неудовлетворительные рентгенологические результаты кругового межтелового спондилодеза на поясничном уровне.

Материал и методы. Проанализированы данные пациентов, прошедших одноуровневое декомпрессивно-стабилизирующее вмешательство на уровнях L₄–L₅ или L₅–S₁ по поводу дегенеративных заболеваний позвоночника. Оценивали КТ-изображения поясничного отдела позвоночника до операции с измерением значений НУ тел позвонков сегмента вмешательства, а также КТ-изображения через 1 год после операции для оценки степени формирования межтелового блока и проседания кейджа. Выделены три группы: пациенты со сформированным межтеловым блоком и без проседания кейджа (контрольная группа); пациенты с несостоятельностью межтелового блока; пациенты с проседанием кейджа.

Результаты. В исследовании представлены данные КТ-томограмм 257 пациентов. Частота несостоятельности блока составила 32,3 % (83/257), частота проседания межтелового кейджа – 43,6 % (112/257). Доля пациентов, имеющих сниженную минеральную плотность костной ткани (МПКТ), составила 26,1 % (67/257). У пациентов с несостоятельностью блока и проседанием отмечаются более высокие показатели ODI ($p = 0,045$ и $p = 0,050$) в сравнении с контрольной группой. Наличие несостоятельности блока и проседания ассоциированы со сниженной МПКТ ($p < 0,05$), со значениями НУ позвонков ($p < 0,05$), с более высоким значением ODI ($p < 0,05$). Согласно ROC-анализу определены пороговые значения НУ, равные 127 НУ, 136 НУ и 142 НУ для тел L₄, L₅, S₁ позвонков соответственно, по достижению которых риск возникновения сочетания несостоятельности блока и проседания значительно возрастает ($p = 0,022$).

Заключение. Пациенты с несостоятельностью межтелового блока и проседанием кейджа имеют менее удовлетворительные клинические результаты. Значения НУ тел позвонков, равные 127 НУ, 136 НУ и 142 НУ для тел L₄, L₅, S₁ позвонков, целесообразно использовать в практической работе для прогнозирования несостоятельности блока и проседания кейджа после одноуровневого декомпрессивно-стабилизирующего вмешательства на нижнепоясничном уровне.

Ключевые слова: единицы Хаунсфилда, НУ, круговой спондилодез, межтеловой блок, проседание кейджа, плотность костной ткани. Для цитирования: Леонова О.Н., Байков Е.С., Пелеганчук А.В., Крутько А.В. Плотность костной ткани позвонков в единицах Хаунсфилда как предиктор несостоятельности межтелового блока и проседания имплантата при круговом поясничном спондилодезе // Хирургия позвоночника. 2022. Т. 19. № 3. С. 57–65.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2022.3.57-65>.

VERTEBRAL BONE DENSITY IN HOUNSFIELD UNITS AS A PREDICTOR OF INTERBODY NON-UNION AND IMPLANT SUBSIDIENCE IN LUMBAR CIRCUMFERENTIAL FUSION

O.N. Leonova¹, E.S. Baikov¹, A.V. Peleganchuk², A.V. Krutko¹

¹Priorov National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia

²Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsivyan, Novosibirsk, Russia

Objective. To determine the values of Hounsfield units (HU) of the lumbar vertebrae predicting unsatisfactory radiological results of circumferential interbody fusion at the lumbar level.

Material and Methods. The data of patients who underwent a single-level decompression and stabilization intervention at the L4–L5 or L5–S1 level for degenerative diseases of the spine were analyzed. The CT images of the lumbar spine were assessed before surgery with

the measurement of HU values of the vertebral bodies at the intervention level, as well as CT images one year after surgery to evaluate the degree of interbody block formation and subsidence of the cage. Three groups of patients were distinguished: patients with a formed interbody bone block and without cage subsidence (control group), patients with failed fusion and patients with cage subsidence.

Results. The study presents CT data of 257 patients. The incidence of non-union was 32.3 % (83/257), and of cage subsidence – 43.6 % (112/257). The proportion of patients with reduced bone mineral density (BMD) was 26.1 % (67/257). Patients with non-union and subsidence had higher ODI scores ($p = 0.045$ and $p = 0.050$, respectively) compared to controls. The presence of fusion failure and subsidence is associated with reduced BMD ($p < 0.05$), HU values of vertebrae ($p < 0.05$), and higher ODI score ($p < 0.05$). According to the ROC analysis, threshold HU values were determined equal to 127 HU, 136 HU and 142 HU for the L4, L5, S1 vertebral bodies, respectively. Upon reaching these values, the risk of a combination of fusion failure and subsidence increases significantly ($p = 0.022$).

Conclusions. Patients with non-union and cage subsidence have less satisfactory clinical outcomes. The HU values of the vertebral bodies equal to 127 HU, 136 HU and 142 HU for the L4, L5, and S1, respectively, are advisable to use in practice to predict non-union and subsidence after a single-level decompression and stabilization intervention at the lower lumbar levels.

Key Words: Hounsfield units, HU, circumferential fusion, bone block, cage subsidence, bone density.

Please cite this paper as: Leonova ON, Baikov ES, Peleganchuk AV, Krutko AV. Vertebral bone density in Hounsfield units as a predictor of interbody non-union and implant subsidence in lumbar circumferential fusion. *Hir. Pozvonoc.* 2022;19(3):57–65. In Russian.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2022.3.57-65>.

В последние несколько десятилетий в мире наблюдается тенденция к увеличению общего числа декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств на поясничном уровне. Наиболее частой причиной для такого рода операций являются дегенеративные заболевания позвоночника [1]. Множество исследований показало, что декомпрессивно-стабилизирующие вмешательства имеют положительный клинический результат – до 80 % пациентов удовлетворены лечением [2].

Одной из главных целей декомпрессивно-стабилизирующего вмешательства является формирование прочного искусственного костно-металлического блока [3, 4]. Однако в ряде случаев в послеоперационном периоде возникают такие нежелательные явления, как несостоятельность блока и проседание межтелового имплантата, которые сами по себе являются неудовлетворительными показателями рентгенологического исхода декомпрессивно-стабилизирующего лечения. Вопрос о корреляции клинических и рентгенологических результатов декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств не имеет однозначного решения, данные авторов противоречивы, единое мнение отсутствует. Однако бесспорным является то, что неудовлетворительные рентгенологические результаты вызывают

беспокойство и настороженность врача и пациента. Одним из предикторов нестабильности конструкции, несостоятельности межтелового костного блока и в связи с этим увеличения числа реопераций является сниженная минеральная плотность костной ткани (МПКТ) [5–7].

Определение МПКТ позвонков в единицах Хаунсфилда (HU – Hounsfield units) позволяет определить плотность губчатой кости, исключая кортикальную, в любом позвонке, включая L₅ и S₁, в отличие от золотого стандарта – денситометрии. Низкое значение МПКТ тела поясничного позвонка в значениях HU является независимым фактором риска для несостоятельности блока и проседания межтелового кейджа [8–10]. МПКТ в единицах HU имеет пороговые значения, при которых вероятность этих неблагоприятных событий возрастает в разы.

Значения МПКТ тел позвонков, равные 122–135 HU, являются пороговыми для возникновения проседания межтелового кейджа [10–13], а значения МПКТ тел позвонков, равные 107–166 HU, определены пороговыми для несостоятельности межтелового блока на поясничном уровне [14–16]. Несмотря на многообразие полученных значений HU, данные значения получены при анализе разнородных когорт пациентов: суммарные значения от фиксаций

разной протяженности, различных методик хирургических вмешательств и измерения МПКТ. Каждая из приведенных характеристик имеет свои риски неблагоприятных результатов, потому экстраполировать их на практическое применение затруднительно. К тому же следует отметить, что в большинстве исследований при расчете пороговых значений используют оппортунистические данные КТ, а также выполняют расчет по разным позвонкам (позвонки L₁, L₃, усредненные значения L₁–L₄ позвонков), независимо от уровня выполнения спондилодеза [9, 17, 18].

Так как наиболее распространенными методами декомпрессивно-стабилизирующими методиками вмешательств при дегенеративных заболеваниях поясничного отдела позвоночника являются TLIF и PLIF [19, 20], а наиболее часто оперируемыми сегментами – нижнепоясничные уровни, то наличие конкретных практических рекомендаций по методологии определения значения HU тел позвонков и прогнозированию результатов хирургического лечения становится в вертебрологии необходимостью.

Цель исследования – определение значений HU поясничных позвонков, прогнозирующих неудовлетворительные рентгенологические результаты одноуровневого кругового спондилодеза на поясничном уровне.

Материал и методы

Исследование является ретроспективным анализом данных пациентов, которым в 2012–2019 гг. проведен круговой спондилодез на одном поясничном уровне. Исследование выполнено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации и одобрено локальным этическим комитетом.

Критерии включения в исследование: одноуровневая винтовая транспедикулярная и межтеловая фиксация L₄–L₅ или L₅–S₁ сегментов с применением одного РЕЕК-кейджа, наличие предоперационной и послеоперационной КТ поясничного отдела позвоночника. В исследование не вошли следующие пациенты:

- с многоэтапным хирургическим вмешательством;
- с признаками интраоперационного проседания межтелового кейджа вследствие повреждения замыкательной пластинки по данным рентгенографии, выполненной сразу после операции;
- с ревизионными вмешательствами в раннем послеоперационном периоде;
- с инфекционными послеоперационными осложнениями.

Показанием к операции был вертеброгенный болевой синдром с наличием или без неврологического дефицита, с синдромом нейрогенной перемежающейся хромоты. Морфологическим субстратом клинических проявлений являлись дегенеративный стеноз и/или дегенеративный спондилолистез позвоночного канала на поясничном уровне.

Методики

Хирургическое вмешательство проводили открытым или минимально-инвазивным способом (open TLIF, MIS TLIF) с применением одного РЕЕК-кейджа в качестве межтелового имплантата без выполнения дополнительного заднего спондилодеза. В качестве наполнителя кейджа использовали аутокость. Цементную аугментацию не выполняли ни в одном случае.

Оценивали демографические данные: возраст, пол, индекс массы тела

(ИМТ), основной диагноз. Клинические данные включали в себя значения опросников ВАШ (спина и нога) и ODI, оцененные до операции и на контрольном осмотре.

МПКТ позвонков уровня, подлежащего стабилизации, оценивали в HU по данным предоперационной КТ поясничного отдела позвоночника. Для этого в трех аксиальных плоскостях (сразу ниже верхней замыкательной пластинки, среднеаксиальный срез и сразу выше нижней замыкательной пластинки) располагали овальную область (ROI) максимально большого размера без включения кортикальной кости. Значения HU определяли программой автоматически, данные одного позвонка усредняли. Пациентов со значениями HU в поясничном отделе <135 HU классифицировали как пациентов со сниженной МПКТ [9].

Корректное положение межтелового имплантата оценивали по рентгенографии поясничного отдела позвоночника сразу после операции: отсутствие интраоперационного проседания кейджа в тело позвонка, сохранение целостности замыкательных пластинок.

Проседание определяли на КТ-изображениях во время контрольного визита: оценивали внедрение имплантата в тело смежного позвонка более чем на 2 мм [21]. Оценку формирования межтелового блока выполняли при контрольном визите по КТ-сканам в бинарной системе: униполярное и/или частичное несращение расценивали как несформированный межтеловой блок (несостоятельность), полное двустороннее сращение как сформированный блок.

По данным КТ поясничного отдела позвоночника при контрольном визите пациентов разделили на 3 группы:

- 1) пациенты со сформированным межтеловым блоком и без проседания имплантата (контрольная группа);
- 2) пациенты с несостоятельностью межтелового блока и с отсутствием проседания имплантата;
- 3) пациенты с проседанием имплантата и со сформированным межтеловым блоком.

Пациенты с сочетанием несостоятельности и проседания межтелового имплантата были исключены из анализа из-за возможного влияния многих факторов риска на наличие такого сочетания.

Статистический анализ

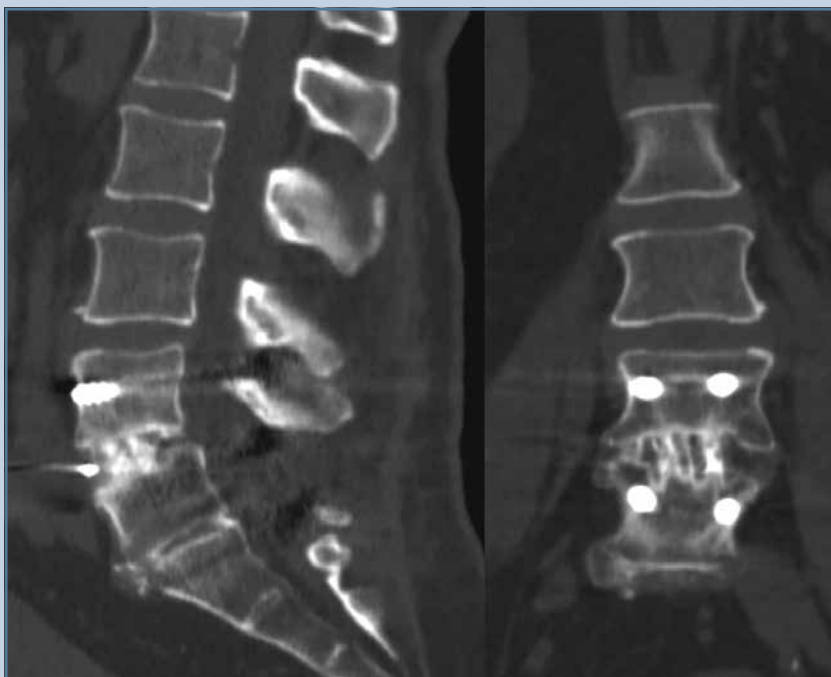
Описание непрерывных данных представлено в виде МЕД [ИКИ]; бинарных данных – в виде количества, % [95 % доверительный интервал]; категориальных данных – в виде количества в категории (%). В связи с небольшим размером групп межгрупповое сравнение проводили непараметрическим U-критерием Манна – Уитни с вычислением значения и 95 % ДИ для псевдомедианы попарных разностей данных в качестве оценки средней разности данных. Межгрупповое сравнение бинарных данных выполняли точным двусторонним критерием Фишера с оценкой ОШ и 95 % ДИ для ОШ. Для определения независимых факторов риска провели многомерный логистический регрессионный анализ путем систематического удаления наименее значимых переменных из модели множественной логистической регрессии, которая изначально включала все переменные. Значимая разница была установлена как $p < 0,05$. Все расчеты были сделаны в программе SPSS 15.0.

Результаты

Из общего числа 1193 пациентов, прошедших одноуровневое декомпрессивно-стабилизирующее вмешательство за указанные сроки и обратившихся повторно, 833 (69,8 %) были исключены из-за отсутствия необходимых пред- и послеоперационных рентгенологических исследований, 58 (4,9 %) пациентов имели инфекционные осложнения в раннем послеоперационном периоде, 45 (3,8 %) – ревизионные вмешательства из-за неустраненного компрессирующего субстрата, мальпозиции транспедикулярного винта. В итоге в исследование вошли 257 (21,5 %) пациентов.

**Рис. 1**

КТ поясничного отдела позвоночника: несформированный костно-металлический блок L₄–L₅ после трансфораминального межтелового спондилодеза, транспедикулярной фиксации на уровне L₄–L₅

**Рис. 2**

КТ поясничного отдела позвоночника: сформированный костно-металлический блок L₄–L₅ после трансфораминального межтелового спондилодеза, транспедикулярной фиксации на уровне L₄–L₅; проседание межтелового имплантата

Длительность наблюдения варьировала от 10 до 30 мес., медиана – 2,1 [1,8; 2,6] года. Частота несформированного межтелового блока у повторно обратившихся пациентов составила 32,3 % (83/257; рис. 1), частота проседания межтелового имплантата выявлена у 43,6 % (112/257) пациентов (рис. 2). Доля пациентов исследуемой когорты, имеющих сниженную МПКТ, составила 26,1 % (67/257).

В послеоперационном периоде пациенты отмечали уменьшение интенсивности болей в спине и в ноге, улучшение функциональной дееспособности ($p > 0,05$). При межгрупповом сравнении параметров определено, что повторное вмешательство чаще в 2,3 раза ($p = 0,037$) проводилось у пациентов с несостоятельностью блока, а у пациентов с проседанием – чаще в 1,4 раза ($p = 0,042$) по сравнению с контрольной группой. Также в этих группах больше доля пациентов со сниженной МПКТ ($p = 0,025$ и $p = 0,034$) и ниже усредненные значения HU тел позвонков ($p = 0,041$ и $p = 0,045$) – все при сравнении с контрольной группой пациентов.

Пациенты с резорбцией вокруг винтов значимо чаще встречались в группе с несостоятельностью блока ($n = 45$; 54,2 %) при сравнении с группой проседания ($n = 38$; 33,9 %) и контрольной группой ($n = 9$; 14,5 %); $p = 0,008$ и $p = 0,023$ соответственно.

Согласно данным опросников, у пациентов с несостоятельностью блока и проседанием отмечаются более высокие показатели индекса функциональной дееспособности ODI ($p = 0,045$ и $p = 0,050$) в сравнении с контрольной группой, также пациенты с проседанием имеют тенденцию к более выраженным болям в спине по ВАШ ($p = 0,051$). Прочие характеристики, включая демографические данные и клинические параметры, имеют сопоставимые значения в группах ($p > 0,05$; табл. 1).

У пациентов с несостоятельностью блока определены более низкие значения HU всех трех позвонков ($p = 0,037$; $p = 0,044$; $p = 0,023$ соответственно), а у пациентов с проседанием отмечены более низкие значения HU тел L₅

Таблица 1

Межгрупповое сравнение клинических и рентгенологических параметров пациентов исследуемых групп

Параметры	Контрольная группа (I), n = 62	Группа несостоятельности блока (II), n = 83	Группа проседания (III), n = 112	p-level		
				I vs II	I vs III	II vs III
<i>Пол, n</i>						
Мужчины	13	22	23	0,893	0,721	0,653
Женщины	49	61	89	0,129	0,096	0,236
Возраст, лет	58,4 [49,2; 68,6]	66,7 [54,5; 69,9]	64,5 [51,2; 70,1]	0,235	0,635	0,741
Индекс массы тела	29,7 [23,7; 34,5]	28,2 [24,1; 33,7]	27,6 [22,9; 31,8]	0,099	0,641	0,323
Повторное вмешательство, n (%)	15 (24,2)	46 (55,4)	37 (33,0)	0,037	0,042	0,570
<i>Минеральная плотность костной ткани</i>						
Норма, n	55	56	79	0,642	0,090	0,720
Сниженная МПКТ, n (%)	7 (11,3)	27 (32,5)	33 (29,5)	0,025	0,034	0,775
Усредненные значения HU обоих позвонков	178 [146; 205]	159 [137; 198]	164 [140; 189]	0,041	0,045	0,083
<i>Уровни вмешательства, n (%)</i>						
L ₄ –L ₅	40 (64,5)	46 (55,4)	64 (57,2)	0,090	0,541	0,738
L ₅ –S ₁	22 (35,5)	37 (44,6)	48 (42,8)	0,632	0,090	0,027
Наличие резорбции вокруг винтов, n (%)	9 (14,5)	45 (54,2)	38 (33,9)	0,023	0,325	0,008
<i>Клинические данные</i>						
ODI до операции	66 [37; 82]	64 [40; 81]	61 [39; 78]	0,088	0,082	0,077
ВАШ (нога) до операции, баллы	8 [5; 9]	8 [4; 9]	8 [5; 9]	0,079	0,069	0,073
ВАШ (спина) до операции, баллы	7 [5; 9]	7 [5; 9]	7 [5; 8]	0,084	0,095	0,093
ODI после операции	12 [8; 26]	22 [10; 34]	20 [12; 30]	0,045	0,050	0,088
ВАШ (нога) после операции, баллы	0 [0; 1]	0 [0; 2]	0 [0; 1]	0,086	0,081	0,091
ВАШ (спина) после операции, баллы	2 [0; 3]	2 [1; 3]	3 [1; 4]	0,064	0,051	0,073

Таблица 2

Значения HU тел позвонков в группах исследования (p-значение)

Позвонки	Основная группа (I)	Группа несостоятельности блока (II)	Группа проседания (III)	I vs II	I vs III	II vs III
L ₄	153 [121; 163]	137 [108; 159]	145 [112; 167]	0,037	0,057	0,067
L ₅	169 [134; 171]	144 [128; 168]	161 [134; 173]	0,044	0,050	0,071
S ₁	191 [164; 215]	178 [159; 191]	185 [154; 197]	0,023	0,041	0,052

и S₁ позвонков (p = 0,050 и p = 0,0041 соответственно; табл. 2).

Несостоятельность межтелового блока и проседания имплантата ассоциированы со сниженной МПКТ (r = 0,631; p = 0,005 и r = 0,750; p = 0,014 соответственно), со значениями HU позвонков (r = 0,721;

p = 0,038 и r = 0,750; p = 0,008 соответственно), с более высоким значением ODI (r = 0,345; p = 0,032 и r = 0,402; p = 0,027 соответственно). Ассоциации с другими факторами, включая возраст, пол, ИМТ, уровень вмешательства, не показали значимости (p > 0,05).

Согласно ROC-анализу были определены пороговые значения HU тел позвонков для выявления пациентов с высоким риском возникновения несостоятельности блока и проседания одновременно. Пороговое значение высокой чувствительности (>81 %) установлено на уровне 125 HU,

139 HU и 145 HU для тел L₄, L₅, S₁ позвонков соответственно ($p > 0,05$). Пороговое значение для высокой специфичности (>88 %) установлено на уровне 136 HU, 149 HU и 157 HU для тел L₄, L₅, S₁ позвонков соответственно ($p > 0,05$). Сбалансированная модель (чувствительность > 78 %, специфичность > 82 %) определила значения 127 HU, 136 HU и 142 HU для тел L₄, L₅, S₁ позвонков соответственно для прогнозирования возникновения сочетания несостоятельности блока и проседания ($p = 0,022$).

Обсуждение

Несмотря на то что одной из целей декомпрессивно-стабилизирующего вмешательства является формирование прочного искусственного блока, несформированный межтеловой блок встречается довольно часто. В исследовании мы показали, что несостоятельность блока и проседание имплантата соответствуют худшему клиническому результату по сравнению с другими вариантами рентгенологических картин.

Среди пациентов, которым требуется декомпрессивно-стабилизирующее вмешательство, распространенность сниженной МПКТ по данным денситометрии достигает 39,7 % [22]. Однако даже среди пациентов с нормальными показателями по денситометрии частота сниженной МПКТ в значениях HU по данным КТ составляет 25,9 % [22]. У пациентов с дегенеративными заболеваниями позвоночника частота недиагностированного остеопороза позвоночника выше, чем в общей популяции, и значение HU, в особенности для таких пациентов, более точно отражает МПКТ [18]. К тому же МПКТ в значениях HU тела позвонка является независимым предиктором осложнений, в то время как T-критерий таковым не является [8, 14]. Доля пациентов исследуемой когорты, имеющих сниженную МПКТ по данным КТ поясничного отдела позвоночника, составила 26,1 % (67/257), что в целом сопоставимо с данными литературы. Меньшее ее значение обусловлено исследуемой

когортой: исключение из исследования пациентов с дегенеративным сколиозом и пациентов с многоуровневой фиксацией.

Резорбция костной ткани вокруг винтов значимо чаще встречалась в группе пациентов с несостоятельностью блока при сравнении с другими группами ($p = 0,008$ и $p = 0,023$ соответственно). По данным исследователей [24], несостоятельность межтелового блока значимо чаще возникает у пациентов с резорбцией вокруг винтов (43,0 % против 2,6 %; $p < 0,001$) [23], и все это ассоциировано со сниженным значением HU позвонков.

У пациентов с низкими значениями HU больше вероятность возникновения несостоятельности блока [9] и проседания кейджа [11, 12]. В нашем исследовании у пациентов с несостоятельностью блока и проседанием чаще определяется сниженная МПКТ: в частности, для несостоятельности блока характерны более низкие значения HU во всех трех позвонках, а для проседания – сниженные значения HU в L₅ и S₁ позвонках.

По нашим данным, частота несформированного межтелового блока составляет 32,3 % (83/257), частота проседания межтелового имплантата – 43,6 % (112/257). По данным литературы [25, 26], частота формирования межтелового блока варьирует от 22 до 100 %, а частота проседания межтелового кейджа – от 10 до 35 % [26–28]. Такой большой диапазон значений обусловлен не только разными периоперационными параметрами и типами вмешательств, но и разными методиками оценки этих рентгенологических картин. Авторы получают данные от разных методов визуализации (рентгенография, КТ) и по данным разных классификаций и шкал (признаки нестабильности, шкалы Bridwell, Tan и прочие). В этом плане КТ поясничного отдела позвоночника обладает наилучшими возможностями визуализации, позволяя всесторонне оценить формирование межтелового блока и проседания кейджа [25]. Также следует отметить, что КТ целесообразно проводить до и после

оперативного лечения: до операции для планирования тактики вмешательства, для определения факторов риска (в том числе значения HU, установления сниженной МПКТ) и прогнозирования результатов, после хирургического вмешательства – для оценки результатов (корректного положения имплантатов, признаков формирования костного блока). При этом возможный вред от КТ-излучения зачастую преувеличен [29].

Интраоперационная подготовка замыкательной пластинки является более сложной у пациентов с низким межтеловым пространством и изначально поврежденной замыкательной пластинкой вследствие дегенерации. Это может привести к еще большей травматизации замыкательной пластинки и к проседанию имплантата уже при его установке. Щадящая манипуляция с подготовкой межтелового пространства, выбор соответствующей высоты кейджа могут быть полезны для профилактики его интраоперационного проседания.

Влияние несостоятельности блока на клинические исходы остается спорным. Некоторые исследования выявили неблагоприятное влияние несостоятельности блока на клинические исходы [30, 31]. Makino et al. [30] сообщили, что несостоятельность блока является фактором риска для более плохого качества жизни пациентов после хирургического лечения. Другие исследователи [32, 33] показали сопоставимые клинические исходы у пациентов со сформированным блоком и с несостоятельностью блока. В действительности сразу после операции клиническая картина улучшается у большинства пациентов вследствие декомпрессии невралных структур, однако в отдаленном послеоперационном периоде клинические симптомы зачастую меняются и несколько ухудшаются [34]. Корреляция между проседанием кейджа и клиническими результатами также остается спорной. Большинство исследований [33, 35] показало, что проседание кейджа не ассоциировано с клиническими исходами. Yao et al. [5] сообщают,

что у пациентов с проседанием значение ODI несколько выше при 2-летнем наблюдении, а разница между до- и послеоперационным значением ODI значимо меньше. Сходные данные получены нами: меньший регресс по опроснику ODI для пациентов с несостоятельностью блока и проседанием кейджа, а также тенденция к более выраженным болям в спине в послеоперационном периоде у пациентов с проседанием ($p = 0,051$). Более высокая интенсивность болей в спине может быть причиной потери сегментарной коррекции из-за проседания кейджа [36], что влечет за собой нарушение позвоночно-тазового баланса [37].

МПКТ позвонков на поясничном уровне неодинаковая, однако однозначного мнения об этом нет: авторы говорят как об уменьшении костной плотности к нижележащим уровням [18], так и об увеличении МПКТ позвонков от вышележащих к нижележащим уровням [38]. Также есть данные об отсутствии значимой разницы в значениях HU позвонков поясничного отдела позвоночника, колебания в плотности костной ткани незначительные [39]. С учетом такого многообразия данных следует с большой осторожностью судить о плотности L_4-S_1 позвонков или по значению HU тела L_1 позвонка или по другим не вовлеченным в стабилизацию позвонкам [13, 14, 22], как рекомендуют авторы. Имеет смысл использовать разные пороговые значения для оценки МПКТ в разных участках позвоночника [40].

По данным литературы [41], МПКТ тел позвонков в случае сформированного блока значимо выше при сравнении со случаями несостоятельности блока (203,3 vs 139,8; $p < 0,001$). Также определены пороговые значения плотности костной ткани тел позвонков (122–135 HU) [10–12], ниже которых вероятность возникновения проседания значительно увеличивается. Целесообразнее использовать одно пороговое значение для оценки риска и несостоятельности блока, а также проседания кейджа, поскольку эти оба явления являются нежелательными. Построенная модель показала пороговые значения 127 HU, 136 HU и 142 HU для тел L_4 , L_5 , S_1 позвонков соответственно, ниже которых риск возникновения несостоятельности блока и проседания имплантата возрастает. Определение этих состояний еще важно потому, что они ассоциированы с менее удовлетворительными клиническими результатами. Для своего анализа мы взяли наиболее распространенный вид декомпрессивно-стабилизирующего вмешательства (TLIF, mis TLIF) и два наиболее часто оперируемых сегмента (L_4-L_5 , L_5-S_1) и получили данные, которые рекомендуются к практическому применению в рутинной практике вертебролога.

Заключение

Сниженная МПКТ в значениях HU является фактором риска для возникновения несостоятельности межтелового блока и проседания кейджа

при выполнении одноуровневого спондилодеза. У пациентов с несостоятельностью межтелового блока и проседанием кейджа получают худшие клинические результаты. КТ поясничного отдела позвоночника перед оперативным вмешательством и расчет значений HU целесообразно выполнять всем пациентам с планируемым декомпрессивно-стабилизирующим вмешательством для оценки рисков несостоятельности костного блока.

Ограничения исследования:

1) исследуемую когорту составили пациенты, которые по каким-либо причинам обращались в клинику повторно; несмотря на то что всем пациентам рекомендуются контрольные осмотры в послеоперационном периоде, далеко не все пациенты их проходят;

2) в качестве межтелового имплантата использовали РЕЕК-кейдж с наполнителем в виде аутокости, что может иметь отражение в частоте возникновения несостоятельности межтелового блока;

3) не анализировали отдельно пациентов с возникновением резорбции вокруг винтов и пациентов с сочетанием трех признаков (несостоятельность блока, проседание кейджа и резорбция вокруг винтов).

Исследование продолжается, результаты будут отражены в следующих статьях.

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

Литература/References

1. **Reisener MJ, Pumberger M, Shue J, Girardi FP, Hughes AP.** Trends in lumbar spinal fusion – a literature review. *J Spine Surg.* 2020;6:752–776. DOI: 10.21037/jss-20-492.
2. **Ogura Y, Kobayashi Y, Shinozaki Y, Kitagawa T, Yonezawa Y, Takahashi Y, Yoshida K, Yasuda A, Ogawa J.** Factors influencing patient satisfaction after decompression surgery without fusion for lumbar spinal stenosis. *Glob Spine J.* 2020;10:627–632. DOI: 10.1177/2192568219868205.
3. **Werle S, AbuNahleh K, Boehm H.** Bone morphogenetic protein 7 and autologous bone graft in revision surgery for non-union after lumbar interbody fusion. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2016;136:1041–1049. DOI: 10.1007/s00402-016-2485-x.
4. **Atici T, Yerebakan S, Ermutlu C, Ozyalcin A.** Augmenting posterolateral fusion with transforaminal lumbar interbody fusion cage improves clinical outcome, but not fusion rate, of posterior decompression. *J Int Med Res.* 2020;48: 300060520910025. DOI: 10.1177/0300060520910025.
5. **Yao YC, Chou PH, Lin HH, Wang ST, Liu CL, Chang MC.** Risk factors of cage subsidence in patients received minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion. *Spine.* 2020;45:E1279–E1285. DOI: 10.1097/BRS.0000000000003557.
6. **Khalid SI, Nunna RS, Maasarani S, Belmont E, Deme P, Chilakapati S, Eldridge C, Singh R, Bagley CA, Adogwa O.** Association of osteopenia and osteoporosis with higher rates of pseudarthrosis and revision surgery in adult patients undergoing single-level lumbar fusion. *Neurosurg Focus.* 2020;49:E6. DOI: 10.3171/2020.5.FOCUS20289.

7. **Афаунов А.А., Басанкин И.В., Тахмазян К.К., Гюльзатян А.А., Муханов М.Л., Чайкин Н.С.** Передний корпородез в этапном хирургическом лечении пациентов с переломами грудных и поясничных позвонков при пониженной минеральной плотности костной ткани // Вестник травматологии и ортопедии им Н.Н. Приорова. 2020. Т. 27. № 3. С. 5–15. [Afaunov AA, Basankin IV, Takhmazyan KK, Giulzatyan AA, Mukhanov ML, Chaikin NS. Anterior stabilization of spine column in the staged surgical treatment of patients with fractures of thoracic and lumbar vertebrae with low bone mineral density. N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics. 2020;27(3):5–15]. DOI: 10.17816/vto20202735-15.
8. **St Jeor JD, Jackson TJ, Xiong AE, Freedman BA, Sebastian AS, Currier BL, Fogelson JL, Bydon M, Nassr A, Elder BD.** Average lumbar Hounsfield units predicts osteoporosis-related complications following lumbar spine fusion. *Global Spine J.* 2022;12:851–857. DOI: 10.1177/2192568220975365.
9. **Zaidi Q, Danisa OA, Cheng W.** Measurement techniques and utility of Hounsfield unit values for assessment of bone quality prior to spinal instrumentation: a review of current literature. *Spine.* 2019;44:E239–E244. DOI: 10.1097/BRS.0000000000002813.
10. **Amorim-Barbosa T, Pereira C, Catelas D, Rodrigues C, Costa P, Rodrigues-Pinto R, Neves P.** Risk factors for cage subsidence and clinical outcomes after transforaminal and posterior lumbar interbody fusion. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2021. Aug 31. DOI: 10.1007/s00590-021-03103-z.
11. **Xi Z, Mummaneni PV, Wang M, Ruan H, Burch S, Deviren V, Clark AJ, Berben SH, Chou D.** The association between lower Hounsfield units on computed tomography and cage subsidence after lateral lumbar interbody fusion. *Neurosurg Focus.* 2020;49:E8. DOI: 10.3171/2020.5.FOCUS20169.
12. **Mi J, Li K, Zhao X, Zhao CQ, Li H, Zhao J.** Vertebral body Hounsfield units are associated with cage subsidence after transforaminal lumbar interbody fusion with unilateral pedicle screw fixation. *Clin Spine Surg.* 2016;30:E1130–E1136. DOI: 10.1097/BSD.0000000000000490.
13. **Pisano AJ, Fredericks DR, Steelman T, Riccio C, Helgeson MD, Wagner SC.** Lumbar disc height and vertebral Hounsfield units: association with interbody cage subsidence. *Neurosurg Focus.* 2020;49:E9. DOI: 10.3171/2020.4.FOCUS20286.
14. **Zou D, Sun Z, Zhou S, Zhong W, Li W.** Hounsfield units value is a better predictor of pedicle screw loosening than the T-score of DXA in patients with lumbar degenerative diseases. *Eur Spine J.* 2020;29:1105–1111. DOI: 10.1007/s00586-020-06386-8.
15. **Schreiber JJ, Hughes AP, Taher F, Girardi FP.** An association can be found between Hounsfield units and success of lumbar spine fusion. *HSS J.* 2014;10:25–29. DOI: 10.1007/s11420-013-9367-3.
16. **Nguyen HS, Shabani S, Patel M, Maiman D.** Posterolateral lumbar fusion: Relationship between computed tomography Hounsfield units and symptomatic pseudoarthrosis. *Surg Neurol Int.* 2015;6(Suppl 24):S611–S614. DOI: 10.4103/2152-7806.170443.
17. **Pickhardt PJ, Pooler BD, Lauder T, del Rio AM, Bruce RJ, Binkley N.** Opportunistic screening for osteoporosis using abdominal computed tomography scans obtained for other indications. *Ann Intern Med.* 2013;158:588–595. DOI: 10.7326/0003-4819-158-8-201304160-00003.
18. **Zou D, Li W, Deng C, Du G, Xu N.** The use of CT Hounsfield unit values to identify the undiagnosed spinal osteoporosis in patients with lumbar degenerative diseases. *Eur Spine J.* 2019;28:1758–1766. DOI: 10.1007/s00586-018-5776-9.
19. **Jin-Tao Q, Yu T, Mei W, Xu-Dong T, Tian-Jian Z, Guo-Hua S, Lei C, Yue H, Zhi-Tian W, Yue Z.** Comparison of MIS vs. open PLIF/TLIF with regard to clinical improvement, fusion rate, and incidence of major complication: a meta-analysis. *Eur Spine J.* 2015;24:1058–1065. DOI: 10.1007/s00586-015-3890-5.
20. **Lan T, Hu S, Zhang Y, Zheng Y, Zhang R, Shen Z, Yang XJ.** Comparison between posterior lumbar interbody fusion and transforaminal lumbar interbody fusion for the treatment of lumbar degenerative diseases: a systematic review and meta-analysis. *World Neurosurg.* 2018;112:86–93. DOI: 10.1016/j.wneu.2018.01.021.
21. **Kim MC, Chung HT, Cho JL, Kim DJ, Chung NS.** Subsidence of polyetheretherketone cage after minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion. *J Spinal Disord Tech.* 2013;26:87–92. DOI: 10.1097/BSD.0b013e318237b9b1.
22. **Zou D, Jiang S, Zhou S, Sun Z, Zhong W, Du G.** Prevalence of osteoporosis in patients undergoing lumbar fusion for lumbar degenerative diseases: a combination of DXA and Hounsfield units. *Spine.* 2020;45:E406–E410. DOI: 10.1097/BRS.0000000000003284.
23. **Zou D, Muhereму A, Sun Z, Zhong W, Jiang S, Li W.** Computed tomography Hounsfield unit–based prediction of pedicle screw loosening after surgery for degenerative lumbar spine disease. *J Neurosurg Spine.* 2020;32:716–721. DOI: 10.3171/2019.11.SPINE19868.
24. **Tokuhashi Y, Matsuzaki H, Oda H, Uei H.** Clinical course and significance of the clear zone around the pedicle screws in the lumbar degenerative disease. *Spine.* 2008;33:903–908. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31816b1eff.
25. **Soriano Sanchez JA, Soriano Solis S, Soto Garcia ME, Soriano Solis HA, Torres BYA, Romero Rangel JAI.** Radiological diagnostic accuracy study comparing Lenke, Bridwell, BSF, and CT-HU fusion grading scales for minimally invasive lumbar interbody fusion spine surgery and its correlation to clinical outcome. *Medicine (Baltimore).* 2020;99:e19979. DOI: 10.1097/MD.00000000000019979.
26. **Seaman S, Kerezoudis P, Bydon M, Torner JC, Hitchon PW.** Titanium vs. polyetheretherketone (PEEK) interbody fusion: Meta-analysis and review of the literature. *J Clin Neurosci.* 2017;44:23–29. DOI: 10.1016/j.jocn.2017.06.062.
27. **Macki M, Anand SK, Surapaneni A, Park P, Chang V.** Subsidence rates after lateral lumbar interbody fusion: a systematic review. *World Neurosurg.* 2019;122:599–606. DOI: 10.1016/j.wneu.2018.11.121.
28. **Chen E, Xu J, Yang S, Zhang Q, Yi H, Liang D, Lan S, Duan M, Wu Z.** Cage Subsidence and fusion rate in extreme lateral interbody fusion with and without fixation. *World Neurosurg.* 2019;122:e969–e997. DOI: 10.1016/j.wneu.2018.10.182.
29. **Sacks B, Meyerson G, Siegel JA.** Epidemiology without biology: false paradigms, unfounded assumptions, and specious statistics in radiation science (with commentaries by Inge Schmitz-Feuerhake and Christopher Busby and a reply by the authors). *Biol Theory.* 2016;11:69–101. DOI: 10.1007/s13752-016-0244-4.
30. **Makino T, Kaito T, Fujiwara H, Honda H, Sakai Y, Takenaka S, Yoshikawa H, Yonenobu K.** Risk factors for poor patient-reported quality of life outcomes after posterior lumbar interbody fusion: an analysis of 2-year follow-up. *Spine.* 2017;42:1502–1510. DOI: 10.1097/BRS.0000000000002137.
31. **Tsutomimoto T, Shimogata M, Yoshimura Y, Misawa H.** Union versus nonunion after posterolateral lumbar fusion: a comparison of long-term surgical outcomes in patients with degenerative lumbar spondylolisthesis. *Eur Spine J.* 2008;17:1107–1112. DOI: 10.1007/s00586-008-0695-9.
32. **Yamagishi A, Sakaura H, Ishii M, Ohnishi A, Ohwada T.** Postoperative loss of lumbar lordosis affects clinical outcomes in patients with pseudoarthrosis after posterior lumbar interbody fusion using cortical bone trajectory screw fixation. *Asian Spine J.* 2021;15:294–300. DOI: 10.31616/asj.2020.0095.
33. **Oh KW, Lee JH, Lee JH, Lee DY, Shim HJ.** The correlation between cage subsidence, bone mineral density, and clinical results in posterior lumbar interbody fusion. *Clin Spine Surg.* 2017;30:E683–E689. DOI: 10.1097/BSD.0000000000000315.
34. **Lehr AM, Delawi D, van Susante JLC, Verschoor N, Wolterbeek N, Oner FC, Kruyt MC.** Long-term (>10 years) clinical outcomes of instrumented posterolateral fusion for spondylolisthesis. *Eur Spine J.* 2021;30:1380–1386. DOI: 10.1007/s00586-020-06671-6.
35. **Zhou QS, Chen X, Xu L, Li S, Du CZ, Sun X, Wang B, Zhu ZZ, Qiu Y.** Does vertebral end plate morphology affect cage subsidence after transforaminal lumbar interbody fusion? *World Neurosurg.* 2019;130:e694–e701. DOI: 10.1016/j.wneu.2019.06.195.

36. **Serratrice N, Gennari A, Yuh SJ, Sabah Y, Gavotto A, Paquis P, Litrico S.** Segmental lordosis gain is a prognostic radiological factor of good functional outcome after the implantation of a single-level prosthesis or a hybrid construct for lumbar disc degeneration. *World Neurosurg.* 2021;152:e597–e602. DOI: 10.1016/j.wneu.2021.06.005.
37. **Matsumoto T, Okuda S, Maeno T, Yamashita T, Yamasaki R, Sugiura T, Iwasaki M.** Spinopelvic sagittal imbalance as a risk factor for adjacent-segment disease after single-segment posterior lumbar interbody fusion. *J Neurosurg Spine.* 2017;26:435–440. DOI: 10.3171/2016.9.SPINE16232.
38. **Berger-Groch J, Thiesen DM, Ntalos D, Hennes F, Hartel MJ.** Assessment of bone quality at the lumbar and sacral spine using CT scans: a retrospective feasibility study in 50 comparing CT and DXA data. *Eur Spine J.* 2020;29:1098–1104. DOI: 10.1007/s00586-020-06292-z.
39. **Li YL, Wong KH, Law MW, Fang BX, Lau VW, Vardhanabuti VV, Lee VK, Cheng AK, Ho WY, Lam WW.** Opportunistic screening for osteoporosis in abdominal computed tomography for Chinese population. *Arch Osteoporos.* 2018;13:76. DOI: 10.1007/s11657-018-0492-y.
40. **Zou D, Li W, Xu F, Du G.** Use of Hounsfield units of S1 body to diagnose osteoporosis in patients with lumbar degenerative diseases. *Neurosurg Focus.* 2019;46:E6. DOI: 10.3171/2019.2.FOCUS18614.
41. **Polikeit A, Ferguson SJ, Nolte LP, Orr TE.** Factors influencing stresses in the lumbar spine after the insertion of intervertebral cages: finite element analysis. *Eur Spine J.* 2003;12:413–420. DOI: 10.1007/s00586-002-0505-8.

Адрес для переписки:

Леонова Ольга Николаевна
127299, Россия, Москва, ул. Приорова, 10,
Национальный медицинский исследовательский центр
травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова,
onleonova@gmail.com

Address correspondence to:

Leonova Olga Nikolayevna
Priorov National Medical Research Center
for Traumatology and Orthopedics,
10 Priorova str., Moscow, 127299, Russia,
onleonova@gmail.com

Статья поступила в редакцию 15.12.2021

Рецензирование пройдено 01.04.2022

Подписано в печать 08.04.2022

Received 15.12.2021

Review completed 01.04.2022

Passed for printing 08.04.2022

Ольга Николаевна Леонова, канд. мед. наук, старший научный сотрудник, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, 10, ORCID: 0000-0002-9916-3947, onleonova@gmail.com;

Евгений Сергеевич Байков, канд. мед. наук, врач-нейрохирург, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, 10, ORCID: 0000-0002-4430-700X, Evgen-bajk@mail.ru;

Алексей Владимирович Пелеганчук, канд. мед. наук, нейрохирургическое отделение № 2, Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17, ORCID: 0000-0002-4588-428X, APeleganchuk@mail.com;

Александр Владимирович Крутько, д-р мед. наук, врач-нейрохирург, ведущий научный сотрудник, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, 10, ORCID: 0000-0002-2570-3066, oribo-ped@mail.ru.

Olga Nikolayevna Leonova, MD, PhD, senior researcher, Priorov National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics, 10 Priorova str., Moscow, 127299, Russia, ORCID: 0000-0002-9916-3947, onleonova@gmail.com;

Evgeny Sergeevich Baikov, MD, PhD, neurosurgeon, Priorov National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics, 10 Priorova str., Moscow, 127299, Russia, ORCID: 0000-0002-4430-700X, Evgen-bajk@mail.ru;

Aleksey Vladimirovich Peleganchuk, MD, PhD, Department of Neurosurgery No. 2, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsiuyan, 17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia, ORCID: 0000-0002-4588-428X, APeleganchuk@mail.com;

Aleksandr Vladimirovich Krutko, DMSc, leading researcher, Priorov National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics, 10 Priorova str., Moscow, 127299, Russia, ORCID: 0000-0002-2570-3066, oribo-ped@mail.ru.