

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ БЕСЦЕМЕНТНОЙ И ЦЕМЕНТНОЙ ИМПЛАНТАЦИИ ТРАНСПЕДИКУЛЯРНЫХ ВИНТОВ В ПОЗВОНКИ С ПОНИЖЕННОЙ МИНЕРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТЬЮ КОСТНОЙ ТКАНИ

А.А. Афаунов<sup>1</sup>, В.Д. Усиков<sup>2</sup>, Д.А. Пташников<sup>2</sup>, К.К. Тахмазян<sup>1</sup>, М.Ю. Докиш<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ГОУ ВПО «Кубанский государственный медицинский университет»,  
ректор – к.м.н. С.Н. Алексеевко  
г. Краснодар

<sup>2</sup> ФГУ «Российский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии  
им. Р.Р. Вредена Росмедтехнологий»,  
директор – д.м.н. профессор Р.М. Тихилов  
Санкт-Петербург

В эксперименте изучена стабильность цементной и бесцементной имплантации транспедикулярных винтов в позвонки с пониженной минеральной плотностью костной ткани. Проанализирована дестабилизация винтов distractionной нагрузкой, приложенной вдоль продольной оси винта на универсальной серво-гидравлической испытательной машине «Walter+bay ag» LFV-10-T50. Показатели жёсткости костно-цементно-металлического блока при цементной имплантации канюлированных транспедикулярных винтов в 2,10–2,38 раза выше аналогичных показателей при обычной имплантации транспедикулярных винтов.

**Ключевые слова:** транспедикулярная фиксация, остеопороз, эксперимент, костный цемент, стабильность.

## EXPERIMENTAL STUDY OF STABILITY AT CEMENT AND CEMENTLESS IMPLANTATION OF TRANSPEDICULAR SCREWS INTO VERTEBRAE WITH LOW MINERAL DENSITY OF BONE

A.A. Afaunov, V.D. Usikov, D.A. Ptashnikov, K.K. Takhmazyan, M.Yu. Dokish

The stability of cemented and noncemented transpedicular screw implantations in vertebra with low mineral bone density was studied in experiment. We analyzed the destabilization of screw under distraction load, attached along longitudinal axis of the screw on universal servo-hydraulic test machine «Walter+bay ag» LFV-10-T50. The factors of bone-cement-metallic block rigidity of cemented screw was in 2,10–2,38 times more than in situation with traditional transpedicular screw.

**Key words:** transpedicular screw fixation, osteoporosis, experiment, bone cement, stability.

Проблема остеопороза в хирургии позвоночника является одной из наиболее актуальных [3, 6, 7, 8]. С одной стороны, это связано с участвовавшими случаями тяжёлых переломов тел позвонков на фоне остеопороза. С другой стороны, накопленный опыт показывает, что стандартные приёмы и методы хирургического лечения при наличии остеопороза малоэффективны или неприемлемы [2, 6]. На сегодняшний день описано несколько вариантов хирургического лечения больных с переломами позвоночника на фоне системного остеопороза, но ни один из них не может считаться оптимальным [3, 6, 8]. В сложившейся ситуации вполне обоснованно выглядит появление транспедикулярных спинальных систем, предполагающих имплантацию винтов с использованием костного цемента [9]. Вопро-

сы экспериментального и клинического обоснования применения таких спинальных систем остаются не достаточно освещёнными в специальной медицинской литературе.

Известно, что клиническая эффективность остеосинтеза во многом определяется его стабильностью [4]. Именно этот фактор является критическим при наличии остеопороза. Экспериментальное обоснование применения спинальных систем, предполагающих цементную имплантацию винтов, может быть основано на сравнении основных параметров стабильности остеосинтеза позвоночника такими системами, и системами, широко применяемыми в клинической практике.

**Цель работы** – провести экспериментальное сравнение стабильности бесцементной и цемен-

тной имплантации транспедикулярных винтов в позвонки с пониженной минеральной плотностью костной ткани.

Серия проведённых нами экспериментов включала 16 опытов, в которых использовали анатомические препараты позвоночных сегментов Th<sub>11</sub> – L<sub>3</sub>, извлекаемые на секции у лиц женского пола старше 65 лет в течение 24–48 часов после смерти. Причины смерти в указанной группе не оказывали влияния на структуру тканей позвонков. Изъятие блоков позвоночных сегментов проводили в соответствии с требованиями подготовки тканей человека для биомеханических исследований в морге кафедры судебной медицины КГМУ. Перед началом исследования производили визуальную макроскопическую оценку и морфометрию анатомических препаратов, рентгенографию препаратов в стандартных проекциях, а так же КТ-денситометрию, которая подтверждала снижение минеральной плотности костной ткани. После этого во все позвонки имплантировали транспедикулярные винты «Синтез» (ООО МТФ «Синтез», г. Санкт-Петербург) диаметром 6,5 мм с длиной резьбовой части 50 мм. Винты проводили параллельно замыкательным пластинам, а их конвергенция составляла 12–18 градусов. При этом в правую часть каждого позвонка имплантировали стандартные винты, применяемые в клинической практике [1], а в левую – канюлированные винты, имплантацию которых осуществляли с использованием костного цемента. Формирование цементной мантии осуществляли после имплантации винтов путём введения 2,5 мл костного цемента через канюлю винта с помощью инжектора. Корректность проведения винтов и цементной мантии контролировали рентгенографией в стандартных проекциях. Подготовленные к экспериментам препараты хранили при температуре – 18 градусов С. Перед проведением нагрузочных тестов их размораживали в течение 6–8 часов.

Нагрузочные тесты были проведены в испытательной лаборатории ЦИТО им. Н.Н. Приорова на универсальной испытательной машине «Walter+bay ag» LFV-10-T50. Тестирование предполагало поочерёдную дестабилизацию имплантированных винтов путём воздействия на них дистракционной нагрузкой, приложенной вдоль продольной оси винта в направлении от заострённой носовой части к головке. Для выполнения тестирования анатомические препараты позвонков закрепляли в неподвижной траверсе испытательной машины за тело позвонка таким образом, что продольная ось испытуемого винта была направлена к подвижной траверсе параллельно вектору прилагаемого дист-

рационного воздействия. Головку винта закрепляли к подвижной траверсе, после чего она приводилась в движение со скоростью 3 мм в минуту, передавая дистракционную нагрузку на имплантированный винт, дестабилизируя его и извлекая из позвонка. Возрастающая по мере движения траверсы нагрузка регистрировалась измерительным комплексом испытательной машины. Запись параметров зависимости величины дислокации испытуемого винта от прилагаемой нагрузки осуществлялась автоматически в виде диаграмм в координатах «дистракционное усилие (N) – линейная величина дислокации (миллиметры)». Движение траверсы и увеличение нагрузки производили до появления явных признаков дестабилизации винта и локальных разрушений костной ткани вокруг его резьбы. Разрушением тестируемого препарата считали момент снижения его сопротивления дистракционной нагрузке, определяемый по началу прогрессивного нарастания дислокации винта без дальнейшего адекватного увеличения нагрузки. Разрушение фиксировалось испытательной машиной, контролировалось визуально и регистрировалось цифровой фотосъёмкой. Сразу после разрушения препарата нагрузку прекращали. Исследуемый образец извлекали для регистрации и морфометрии, после чего позвонок перезакрепляли в неподвижной траверсе испытательной машины и аналогичным образом проводили тестирование второго винта. После дестабилизации всех винтов выполняли рентгенографию анатомических препаратов позвонков в стандартных проекциях. По полученным диаграммам составляли таблицы зависимости дислокации испытуемых винтов от прилагаемой нагрузки. Дискретность дислокации винтов в таблицах составляла 0,25 мм.

Очевидно, что, с клинической точки зрения, наибольший интерес представляют экспериментальные данные, полученные в диапазоне тестирующих нагрузок, провоцирующих начальные проявления дестабилизации. Исходя из этого и учитывая возможности электронного измерительного комплекса испытательной машины, для сравнения стабильности стандартной и цементной имплантации винтов в позвонки с пониженной минеральной плотностью нами проводилось сопоставления нагрузок, вызывающих дислокации винтов до 1 мм. Сопоставление производили отдельно по каждому позвонку, принимая за 100% величину нагрузки, провоцирующую дислокацию стандартного винта в дорзальном направлении. Равноценная дислокация канюлированного винта из того же позвонка после цементной имплантации провоцировалась большей дистракционной нагрузкой. Её процен-

тное соотношение с соответствующей нагрузкой стандартного винта для каждого позвонка определяли по формуле:

$$F_c/F_s100, \quad (1)$$

в которой  $F_s$  – дистракционная нагрузка, провоцирующая дислокацию стандартного винта, а  $F_c$  – дистракционная нагрузка, провоцирующая равноценную дислокацию канюлированного винта после цементной имплантации. Полученные цифровые характеристики результатов проведённых экспериментов подвергались статистической обработке с определением стандартной ошибки средних значений, с учетом, прежде всего, процентных соотношений дистракционных нагрузок, вызывающих равноценные дислокации стандартных и канюлированных винтов для каждого позвонка. Также учитывали и абсолютные величины этих нагрузок, которые существенно отличались в различных позвонках. За счёт такого подхода к анализу результатов нам удалось избежать существенных погрешностей, связанных со значительной вариабельностью механических свойств костной ткани позвонков у различных лиц.

Таким образом, в нашей работе было проведено сравнение величин механических нагрузок, способных вызвать начальную дисло-

кацию и дестабилизацию транспедикулярных винтов после стандартной имплантации и канюлированных винтов после цементной имплантации. Сравнимые величины характеризуют показатели жёсткости костно-металлических и костно-цементно-металлических блоков, формирующиеся после имплантации винтов в позвонки [5].

Показатели дистракционной нагрузки, провоцирующей дислокацию стандартных транспедикулярных винтов в дорзальном направлении, представлены в таблице 1. По результатам восьми экспериментов дислокация на 0,25 мм происходила при нагрузке  $26 \pm 7$  N. Дислокация на 0,5 мм – при нагрузке  $43 \pm 26$  N. Дислокация на 0,75 мм происходила при нагрузке  $56 \pm 15$  N и на 1 мм – при нагрузке  $67 \pm 16$  N.

Показатели дистракционной нагрузки, провоцирующей аналогичную дислокацию канюлированных винтов после цементной имплантации в позвонки, представлена в таблице 2. По результатам восьми экспериментов дислокация на 0,25 мм происходила при нагрузке  $54 \pm 17$  N. Дислокация на 0,5 мм – при нагрузке  $89 \pm 26$  N, на 0,75 мм – при нагрузке  $120 \pm 31$  N и на 1 мм – при нагрузке  $155 \pm 37$  N.

Таблица 1  
Зависимость величины линейной дислокации стандартных транспедикулярных винтов от прилагаемой дистракционной нагрузки

Дислокация винтов, мм	Дистракционная нагрузка на стандартные винты (N)								Средняя величина дистракционной нагрузки
	Номер эксперимента								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
0,25	10	10	60	60	10	20	15	20	$26 \pm 7$
0,5	20	23	95	100	20	30	20	35	$43 \pm 26$
0,75	25	33	115	130	31	45	30	40	$56 \pm 15$
1,0	30	40	138	150	40	50	40	50	$67 \pm 16$

Таблица 2  
Зависимость величины линейной дислокации канюлированных транспедикулярных винтов от прилагаемой дистракционной нагрузки

Дислокация винтов, мм	Дистракционная нагрузка на канюлированные винты								Средняя величина дистракционной нагрузки
	Номер эксперимента								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
0,25	20	18	90	160	20	40	40	45	$54 \pm 17$
0,5	40	42	150	250	45	65	50	70	$89 \pm 26$
0,75	60	64	210	300	80	85	70	90	$120 \pm 31$
1,0	80	100	280	360	110	100	90	120	$155 \pm 37$

Абсолютные величины дистракционных нагрузок, провоцирующих равноценные дислокации стандартных и канюлированных винтов, для каждого позвонка были сопоставлены между собой. При этом, дислоцирующая нагрузка на стандартный винт принималась за 100%. Процентное соотношение между нагрузками, прилагаемыми на канюлированный и стандартный винты при их равноценных дислокациях определялось для каждого позвонка по формуле (1). В таблице 3 наглядно продемонстрировано, что для равноценной начальной дислокации канюлированных винтов после их цементной имплантации дистракционная нагрузка должна составлять в среднем 210–238% от соответствующей нагрузки, прилагаемой на стандартные винты, то есть быть больше в 2,10–2,38 раза.

Из представленных в таблице 3 данных видно, что, несмотря на значительный разброс аб-

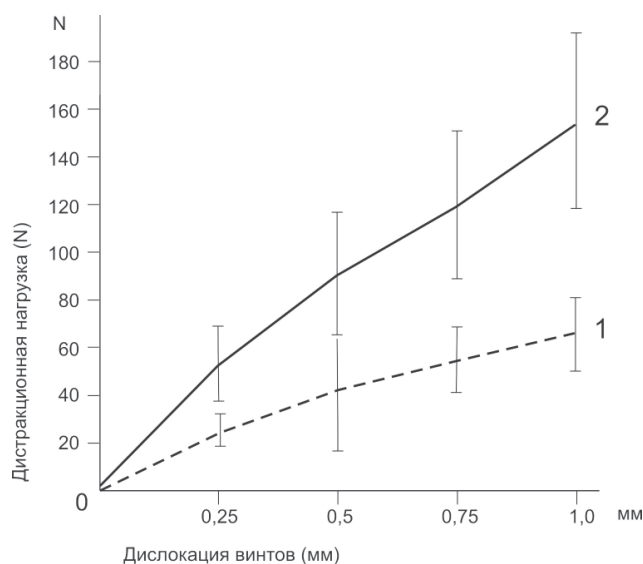
солютных величин дистракционных нагрузок, провоцирующих равноценные дислокации винтов из различных позвонков, процентное соотношение нагрузок для стандартных и канюлированных винтов в каждом отдельно взятом позвонке находится в значительно более узком диапазоне. Зависимость линейных величин дислокаций винтов от прилагаемых дистракционных нагрузок представлена в графическом виде на рисунке 1.

Таким образом, показатели жёсткости костно-цементно-металлического блока при цементной имплантации канюлированных транспедикулярных винтов в позвонки с пониженной минеральной плотностью костной ткани в 2,10–2,38 раза выше аналогичных показателей костно-металлического блока при обычной имплантации стандартных винтов соответствующего размера.

Таблица 3

Процентное соотношение дистракционных нагрузок на стандартные и канюлированные винты, провоцирующих их равноценную дислокацию в дорзальном направлении

Дислокация винтов, мм	Процентное соотношение дистракционных нагрузок на стандартные и канюлированные винты, %								Среднее процентное соотношение
	Номер эксперимента								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
0,25	200	180	150	267	200	200	267	225	211±14,3
0,5	200	183	158	250	225	217	250	200	210±11,2
0,75	240	194	183	230	258	189	233	225	219±9,6
1,0	267	250	203	240	275	200	225	240	238±9,6



**Рис. 1.** График зависимости величины начальных дислокаций транспедикулярных винтов от прилагаемых дистракционных нагрузок

По оси абсцисс — величина линейной дислокации транспедикулярных винтов, мм; по оси ординат — величина дистракционных нагрузок, действующих на транспедикулярные винты (N); линия 1 — зависимость величины начальных дислокаций стандартных транспедикулярных винтов от прилагаемых дистракционных нагрузок; линия 2 — зависимость величины начальных дислокаций канюлированных транспедикулярных винтов от прилагаемых дистракционных нагрузок

## Литература

1. Афаунов, А.А. Транспедикулярный остеосинтез при повреждениях грудного и поясничного отделов позвоночника : автореф. дис. ... д-ра мед. наук / Афаунов А.А. — СПб., 2006. — 36 с.
2. Борисов, А.К. Оперативное лечение переломов грудного и поясничного отделов позвоночника с применением транспедикулярной фиксации : дис. ... канд. мед. наук / Борисов А.К. — М., 2001. — 250 с.
3. Ветрилэ, С.Т. Особенности хирургического лечения больных с осложнёнными компрессионными переломами тел позвонков грудного и поясничного отделов позвоночника на фоне системного остеопороза / С.Т. Ветрилэ, А.А. Кулешов, Л.Ю. Дарчия // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. — 2009. — № 2. — С. 34–39.
4. Мюллер, М.Е. Руководство по внутреннему остеосинтезу / М.Е. Мюллер, М. Альговер, Р. Шнайдер, Ч. Виллинегер. — М., 1996. — 750 с.
5. Образцов, И.Ф. Проблемы прочности в биомеханике / И.Ф. Образцов [и др.]. — М. : Высшая школа, 1988. — 311 с.
6. Chung, S.K. Treatment of lower lumbar radiculopathy caused by osteoporotic compression fracture: the role of vertebroplasty / S.K. Chung [et al.] // J. Spin. Disord. Tech. — 2002. — Vol. 15, N 6. — P. 461–468.
7. Nguyen, H.V. Osteoporotic vertebral burst fractures with neurologic compromise / H.V. Nguyen, S. Ludwig, D. Gelb // J. Spin. Disord. Tech. — 2003. — Vol. 16, N 1. — P. 10–19.
8. Saita, K. Posterior spinal shortening for paraplegia after vertebral collapse caused by osteoporosis / K. Saita, Y. Hoshino, I. Kikkawa, H. Nakamura // Spine. — 2000. — Vol. 25. — P. 2832–2835.
9. Wittenberg, R.H. Effect of screw diameter, insertion technique and bone cement augmentation of pedicular screw fixation strength / R.H. Wittenberg [et al.] // Clin. Orthop. — 1993. — N 296. — P. 278–287.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Афаунов Аскер Алиевич – д.м.н. заведующий кафедрой ортопедии, травматологии и ВПХ ГОУ ВПО «Кубанский государственный медицинский университет»

e-mail: afaunovkr@mail.ru,

Усиков Владимир Дмитриевич – д.м.н. профессор, научный руководитель отделения нейроортопедии и костной онкологии ФГУ «Российский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена Росмедтехнологий»,

Пташников Дмитрий Александрович – д.м.н. профессор, заведующий травматолого-ортопедическим отделением №18 ФГУ «Российский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена Росмедтехнологий»,

Тахмазян Карапет Карапетович – ассистент кафедры ортопедии, травматологии и ВПХ ГОУ ВПО «Кубанский государственный медицинский университет»,

Докиш Михаил Юрьевич – врач-нейрохирург травматолого-ортопедического отделения №18 ФГУ «Российский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена Росмедтехнологий».