

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КРЮЧКОВОЙ И ТРАНСПЕДИКУЛЯРНОЙ СИСТЕМ ФИКСАЦИИ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ ДЕФОРМАЦИЙ ПОЗВОНОЧНИКА

А.А. Кулешов, И.Н. Лисянский, М.С. Ветрилэ, Н.С. Гаврюшенко, Л.В. Фомин

ФГБУ «Центральный институт травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова»
Минздравсоцразвития России, Москва, РФ

Используя трупные блоки позвоночника, авторы сравнили жесткость транспедикулярной и крючковой фиксации при циклических и статических нагрузках на выдергивание (pull-out). Выполняли транспедикулярную и крючковую (суб- и супраламинарная) фиксацию трупных грудных сегментов позвоночника. Силу, необходимую для выдергивания конструкции, измеряли с помощью испытательной машины w+b (walter + bai ag) фирмы "LFV-10-T50" (Швейцария). Для проведения статических тестов на выдергивание и при циклических нагрузках использовали по 7 блоков позвоночника с транспедикулярной фиксацией и по 7 — с крючковой фиксацией. При циклической нагрузке прикладывали силу в 800 Н с частотой 5 Гц. Исследование показало, что при возрастающей статической нагрузке крючковые имплантаты выдерживали нагрузку в среднем 1417 Н, при увеличении нагрузки происходило разрушение дужки позвонка. Транспедикулярные винты в свою очередь в среднем выдерживали 2286 Н, а при приложении большей силы отмечалось выхождение винта из корня дуги. В результате циклических испытаний выявлено, что крючки выдерживали в среднем 2935 циклов, при более длительной нагрузке происходило разрушение дужки. Винты выдерживали полную программу циклических нагрузок без разрушений (18 000 циклов). Установлено также, что сопротивление на выдергивание при винтовой фиксации значительно превосходит таковое при крючковой фиксации. Полученные данные позволяют говорить о том, что транспедикулярная фиксация является оптимальной для хирургического лечения деформаций позвоночника.

Ключевые слова: эксперимент, транспедикулярная фиксация, крючковая фиксация, выдергивание.

Comparative Experimental Study of Hook and Pedicle Fixation Systems Used at Surgical Treatment of Spine Deformities

A.A. Kuleshov, I.N. Lisyansky, M.S. Vetrile, N.S. Gavryushenko, L.V. Fomin

Using human cadaver spines we compared the stiffness of pedicle screws and laminar hooks under cyclic and static pull-out loads. Transpedicular and hook fixation (sub- and supralaminar) of cadaveric thoracic spine segments was performed. Axial pull-out strength was measured using w+b (walter + bai ag) servoelectric testing machine (LFV-10-T50, Switzerland). Static pull-out tests were performed on 7 spine blocks with transpedicular and 7 blocks with hook fixation. The same blocks were tested under cyclic loads. At cyclic pull-out loading 800 N strength with 5 Hz frequency was applied. It was shown that at increasing static load hook implants could bear 1417 N at average. At higher loads the vertebral arch was destroyed. Transpedicular implants could bear 2286 N at average and at higher loads the screw migrated from the arch root. Cyclic tests showed that hooks could bear 2935 cycles at average and at prolonged loading the arch was destroyed. The hooks could bear the full; program of cyclic loads without destruction (18 000 cycles).

Key words: experiment, pedicle screw fixation, hook fixation, pull-out.

Результат хирургического лечения деформаций позвоночника во многом определяется использованным вариантом комплектации металлоконструкции. В современных условиях для хирургической коррекции сколиоза используют ламинарную, транспедикулярную и гибридную (сочетание ламинарной и транспедикулярной) системы фиксации. По данным [1–5], сопоставивших результаты

лечения больных сколиозом при различных методах фиксации, транспедикулярные винты лучше воздействуют на вершину грудной сколиотической дуги и обеспечивают сагиттальный баланс, чем конструкции крючковой комплектации.

За период с 1996 по 2012 г. в отделении патологии позвоночника ЦИТО прооперировано более 1000 пациентов со сколиозом. В работе [6] были

проанализированы результаты хирургического лечения 203 пациентов с тяжелыми формами сколиоза, прооперированных с применением крючковой и гибридной систем. В отдаленном периоде у 4% пациентов отмечалось развитие нестабильности верхнего полюса металлоконструкции, что требовало дополнительных хирургических вмешательств с целью перемонтажа металлоконструкции.

Настоящее исследование посвящено экспериментальной оценке прочности ламинарной и винтовой конструкций при статической и циклической нагрузках.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось на базе лаборатории испытаний новых материалов, медицинской техники и метрологии ЦИТО.

В экспериментах использовали анатомические препараты блоков позвоночных сегментов Th2–Th9 с полностью сохраненными дисками и связочными структурами, извлеченных на секции у лиц 20–35-летнего возраста. Изъятие препаратов позвоночных сегментов проводили на секции в сроки до 48 ч после смерти в соответствии с требованиями подготовки тканей экспериментальных животных и человека для биомеханических исследований [7]. Причины смерти в указанной группе не влияли на структуру тканей позвоночника. Перед исследованиями производили визуальную оценку и морфометрию препаратов, рентгенографию в стандартных проекциях.

С помощью скальпеля препарат разделяли на блоки. Каждый блок состоял из двух позвонков и межпозвоночного диска. Перед экспериментом осуществляли монтаж конструкций: транспедикулярной четырехвинтовой и крючковой (рис. 1) с соблюдением общих правил установки конструкций [6, 8, 9]. Во всех экспериментах использовали имплантаты спинальной системы Legasy Medtronic Sofamor Danek (США). Проводили рентгенконтроль корректности установки конструкций (рис. 2). Испытания осуществляли на траверсе универсальной испытательной машины w+b (walter+bai ag) фирмы «LFV-10-T50» (Швейцария), в зажимах которой закрепляли подготовленные блоки (рис. 3). Нагрузку давали по оси стояния элемента конструкции и прикладывали в непосредственной близости от элемента конструкции.

Экспериментальная часть работы включала 4 серии по 7 опытов. Исследовали механическую стабильность (прочность на выдергивание — pull-out) транспедикулярной и крючковой фиксации при статической и циклической нагрузках.

Динамические тесты выполняли после статических, результаты которых позволили рассчитать необходимую нагрузку — усилие 800 Н и частота 5 Гц в течение 1 ч (18 000 циклов) для обоих вариантов фиксации. Визуально контролировали состояние имплантатов и блока. Результаты испытаний с целью последующей обработки автоматически регистрировались на электронном и бумажном носителях.

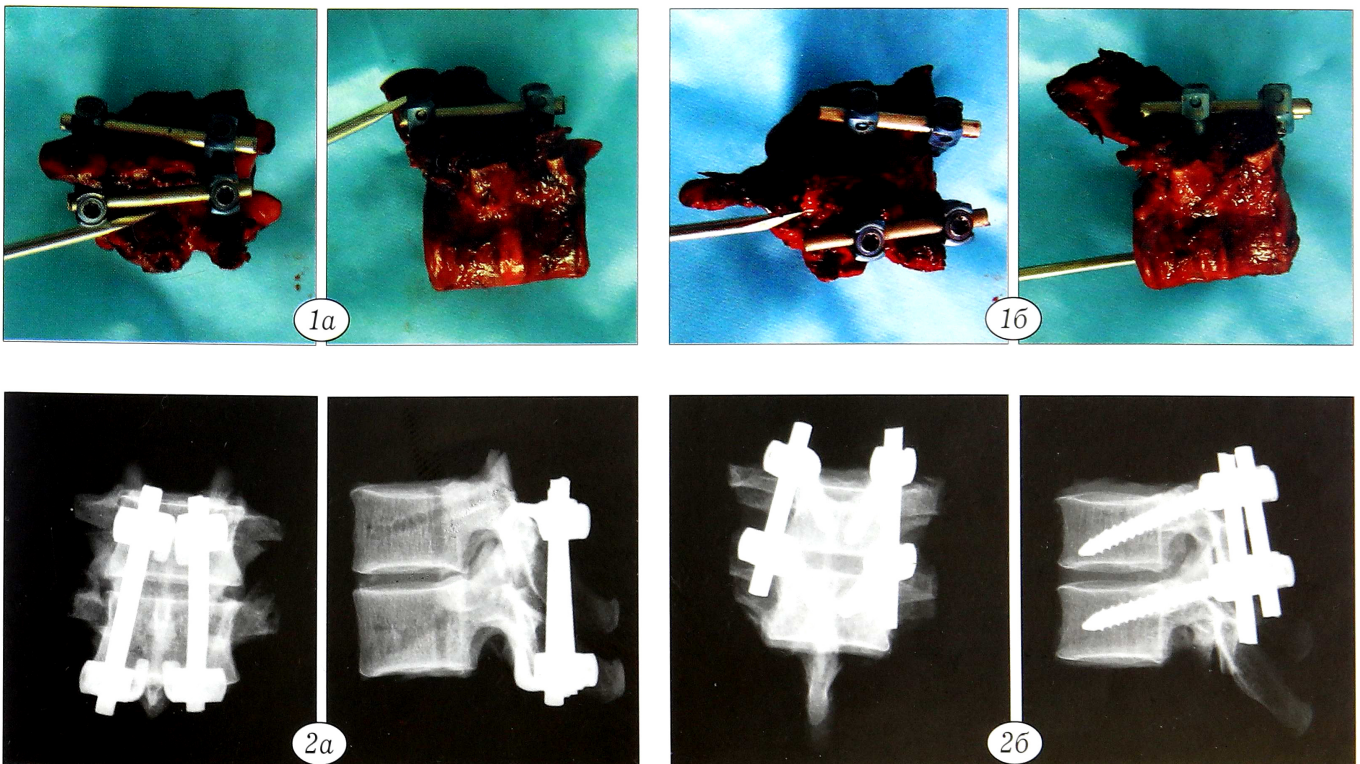


Рис. 1. Внешний вид препаратов с крючковой (а) и винтовой (б) фиксацией.

Рис. 2. Контрольные рентгенограммы после установки конструкции с крючковой (а) и винтовой (б) фиксацией.

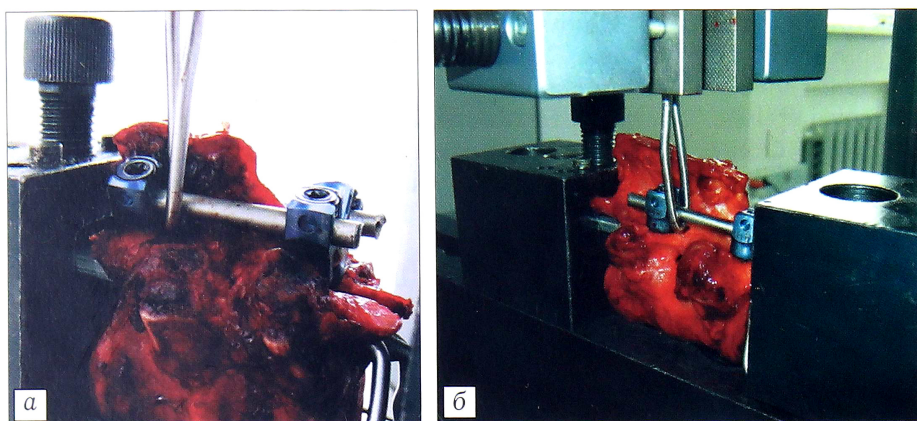


Рис. 3. Установка препаратов с крючковой (а) и винтовой (б) фиксацией в зажимах универсальной испытательной машины w+b.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Тесты со статической нагрузкой (прочность на выдергивание — pull-out тест). Исследование показало, что крючковые имплантаты в серии опытов выдержали нагрузку от 1080 до 1700 Н (в среднем 1417 ± 272 Н), а при увеличении нагрузки происходило разрушение дужки позвонка (рис. 4, а).

Транспедикулярные винты в свою очередь оказались устойчивы к воздействию силы от 1700 до 2700 Н (в среднем 2286 ± 429 Н). При приложении большей силы отмечалось выхождение винта из корня дуги (рис. 4, б). Наибольшую прочность на вырывание показывали винты, диаметр которых четко соответствовал корню дуги.

Таким образом, при статических испытаниях транспедикулярная система фиксации продемонстрировала значительное превосходство над крючковой ($p=0,0007$; рис. 5).

Тесты с динамической нагрузкой. В результате циклических испытаний установлено, что нагрузка в течение 1 ч не сопровождалась какими-либо деформациями или разрушениями винтовой конструкции. Крючки выдерживали от 2359 до 3885 циклов (в среднем 2935 ± 509 циклов; 9,8 мин), при более длительной нагрузке происходило разрушение дужки.

Таким образом, система с винтовой фиксацией оказалась достоверно ($p < 0,0001$) более устойчивой

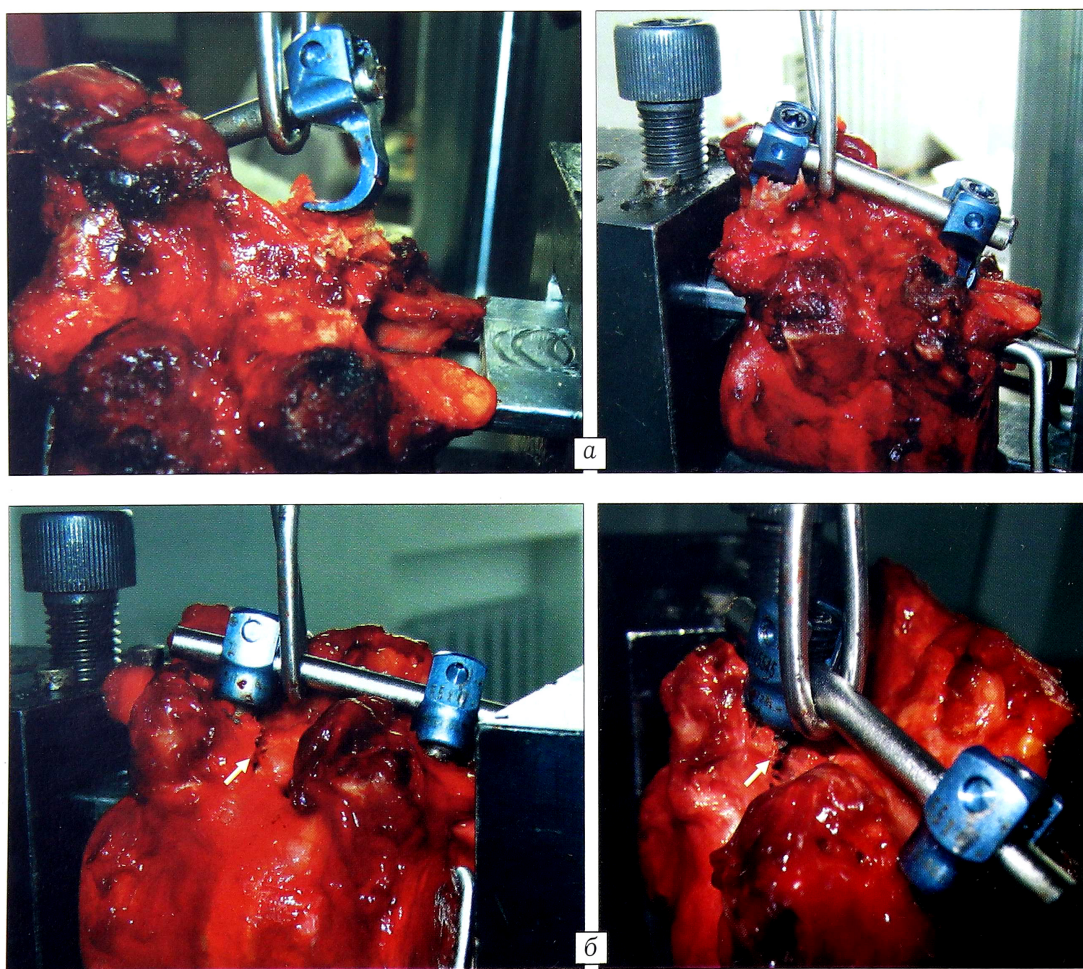


Рис. 4. Внешний вид разрушенных блока при крючковой (а) и винтовой (б) фиксации.

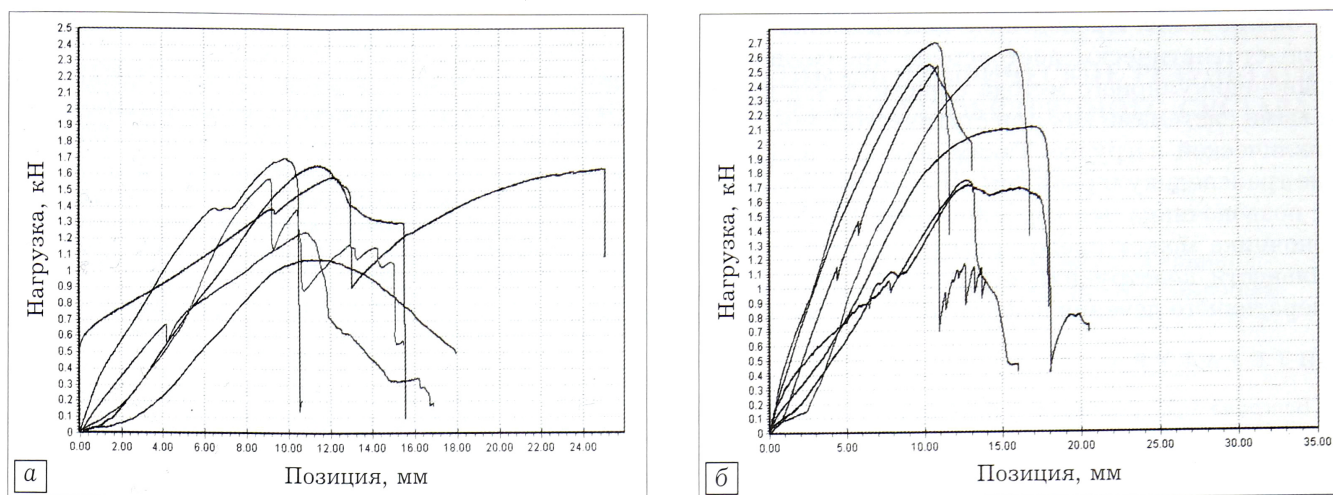


Рис. 5. Графики статических испытаний при крючковой (а) и винтовой (б) фиксации.

к динамическим нагрузкам, чем крючковая. Необходимо отметить, что при статических и циклических испытаниях отмечались случаи разгибания и переломов крючков.

Результаты нашего исследования согласуются с результатами других экспериментальных работ. Так, С.В. Колесов и соавт. [10] исследовали механическую стабильность системы винтовой фиксации при различных условиях проведения винтов в тело позвонка. Наиболее стабильной оказалась двухвинтовая фиксация, при которой дорсальный винт проводится бикортикально, а вентральный — монокортикально. Максимальное усилие на вырывание соответствовало 1700 Н. Средняя суммарная прочность двух винтов, проведенных через два кортикальных слоя, составила 1490 Н. Винт, фиксированный без рассверливания с дополнительной фиксацией цементом, выдержал нагрузку 1320 Н, а просто бикортикально введенный винт — 1300 Н. Прочность фиксации винта в теле позвонка, рассверленного сверлом 6 мм, с применением цемента была равна 1055 Н. При неполном введении двух винтов монокортикально средняя суммарная нагрузка, не сопровождавшаяся разрушением позвонка, составила 546 Н. Винт, фиксированный на цемент в рассверленном на 5 мм канале тела позвонка, выдержал нагрузку 400 Н, а винт, вкрученный наполовину поперечника тела позвонка, — 330 Н [10]. Данные нашего исследования свидетельствуют о том, что прочность на вырывание при двухвинтовой транспедикулярной фиксации превосходит таковую при вентральной фиксации.

А.А. Афаунов в своем экспериментальном исследовании [11] показал, что вертикальная компрессирующая нагрузка до 1300–1400 Н на систему «позвоночные сегменты–четыревинтовой транспедикулярный металлофиксатор» способствовала появлению упругой деформации за счет изгиба продольных стержней. При дальнейшем увеличении нагрузки начиналось локальное разрушение в виде импрессии спонгиозных костных структур, непосредственно контактирующих с поверхностью

транспедикулярных винтов. При этом система в целом сохраняла стабильность и способность противостоять возрастающим вертикальным усилиям с появлением остаточной деформации. При увеличении нагрузки до 2300–2600 ($2416 \pm 85,1$) Н происходили переломы корней дуг или краниальных замыкательных пластин Th12 с полной дестабилизацией остеосинтеза [11]. В нашем исследовании, в случае с транспедикулярной фиксацией, разрушение костной ткани происходило при таких же нагрузках.

В.В. Гусев и соавт. [12] проводили циклические испытания транспедикулярного винта собственной модификации. Нагрузка при динамических испытаниях не превышала 1500 Н, т.е. соответствовала максимально возможной физиологически. Испытания проводили до разрушения спинальных систем, которое происходило после 59 125 циклов в контрольной группе и через 74 954 циклов в основной группе. В нашем исследовании нагрузка давалась по оси винта в течение 1 ч и составляла 800 Н (18 000 циклов), при этом разрушений конструкции или костной ткани не выявлено. Результаты обоих исследований свидетельствуют о высоком потенциале дальнейшего совершенствования систем транспедикулярной фиксации.

S. Fiirderer и соавт. [13] в исследовании на трупных блоках сравнивали прочность на вырывание при различных вариантах проведения винтов в грудном отделе позвоночника. При транспедикулярном проведении винта сила на вырывание составила в среднем 400 Н (от 250 до 590 Н), при супратрансверсальном — 368,3 Н (от 250 до 600 Н), при трансперечном — 368,3 Н (от 120 до 500 Н). В нашем исследовании сила на вырывание в среднем составила 2286 Н. Более низкие показатели на вырывание в работе [13], с нашей точки зрения, были получены потому, что сила прилагалась непосредственно к винту. В нашем случае конструкции были двухвинтовые, хотя и сила прикладывалась в максимальной близости к винту, опосредованно через стержень.

Заключение. Проведенное исследование показало статистически достоверное преимущество транспедикулярного метода фиксации над крючковыми системами как при статической, так и при циклической нагрузке. Таким образом, применение транспедикулярной фиксации в грудном отделе позвоночника при коррекции деформаций позвоночника может предотвратить развитие нестабильности конструкции и улучшить результаты оперативного лечения деформаций позвоночника.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ветрилэ С.Т., Кулешов А.А., Ветрилэ М.С., Кисель А.А.* Хирургическое лечение груднопоясничного и поясничного сколиоза. Хирургия позвоночника. 2004; 2:12-18.
2. *Hamzaoglu A., Ozturk C., Aydogan M., Tezer M., Aksu N., Bruno M.B.* Posterior only pedicle screw instrumentation with intraoperative halo-femoral traction in the surgical treatment of severe scoliosis (> 100 degrees). Spine. 2008; 33 (9): 979-983.
3. *Kim Y.J., Lenke L.G., Kim J., Bridwell K.H., Cho S.K., Chen G., Sides B.* Comparative analysis of pedicle screw versus hybrid instrumentation in posterior spinal fusion of adolescent idiopathic scoliosis. Spine. 2006; 31 (3): 291-298.
4. *Kuklo T.R., Lenke L.G., O'Brien M.F., Lehman R.A. Jr, Polly D.W. Jr, Schroeder T.M.* Accuracy and efficacy of thoracic pedicle screw in curves more than 90 degrees. Spine. 2005; 30 (2): 222-226.
5. *Suk S.I., Lee S.M., Chung E.R., Kim J.H., Kim W.J., Sohn H.M.* Determination of distal fusion level with segmental

pedicle screw fixation in single thoracic idiopathic scoliosis. Spine. 2003; 28 (5): 484-491.

6. *Кулешов А.А.* Тяжелые формы сколиоза. Оперативное лечение и функциональные особенности некоторых органов и систем. Дис. ... д-ра мед. наук; М.; 2007.
7. *Сикилинда В.Д., Акопов В.И., Хлопонин П.А. и др.* Подготовка тканей экспериментальных животных и человека для биомеханических и морфологических исследований. Методические рекомендации. Ростов на Дону-Санкт-Петербург. 2002.
8. *Михайловский М.В., Фомичев Н.Г.* Хирургия деформаций позвоночника. Новосибирск: Сибирское университетское издательство; 2002.
9. *Kim Y.J., Lenke L.G., Bridwell K.H., Cho Y.S., Riew K.D.* Free hand pedicle screw placement in the thoracic spine is it safe? Spine. 2004; 29 (3): 333-342.
10. *Колесов С.В., Гаврюшенко Н.С., Кудряков С.А., Шавырин И.А.* Экспериментальное исследование возможностей вентральной коррекции и фиксации при деформациях позвоночника. Хирургия позвоночника. 2011; 3: 82-88.
11. *Афаунов А.А.* Транспедикулярный остеосинтез при повреждениях грудного и поясничного отделов позвоночника (экспериментально-клиническое исследование): Автореф. дис. ... д-ра мед. наук; СПб; 2006.
12. *Гусев В.В., Сергеев К.С., Паськов Р.В.* Экспериментальное обоснование модификации транспедикулярного фиксатора. Хирургия позвоночника. 2011; 3: 77-81.
13. *Fürderer S., Scholten N., Coenen O., Koeckle J., Eysel P.* In-vitro comparison of the pullout strength of 3 different thoracic screw fixation techniques. Spinal Disord. Tech. 2011; 24 (1): E6-E10.

Сведения об авторах: *Кулешов А.А.* — доктор мед. наук, ведущий науч. сотр., руководитель группы детской вертебрологии ЦИТО; *Лисянский И.Н.* — аспирант ЦИТО; *Ветрилэ М.С.* — канд. мед. наук, старший науч. сотр. группы детской вертебрологии ЦИТО; *Гаврюшенко Н.С.* — профессор, доктор техн. наук, зав. лабораторией испытаний новых материалов, медицинской техники и метрологии ЦИТО; *Фомин Л.В.* — инженер-метролог лаборатории испытаний новых материалов, медицинской техники и метрологии ЦИТО.

Для контактов: Лисянский Игорь Николаевич. 127299, Москва, ул. Приорова, дом 10, группа детской вертебрологии ЦИТО. E-mail: cito-spine@mail.ru.

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ!

При направлении статей в редакцию просим обращать особое внимание на правильность представления материала.

План построения **оригинальных статей** должен быть следующим: резюме, ключевые слова, краткое введение, отражающее состояние вопроса к моменту написания статьи и задачи настоящего исследования, материалы и методы, результаты и обсуждение, выводы по пунктам или заключение, список цитированной литературы.

Методика исследований должна быть описана очень четко, так чтобы ее легко можно было воспроизвести.

При представлении в печать экспериментальных работ следует руководствоваться «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных». Помимо вида, пола и количества использованных животных, авторы обязательно должны указываться применявшиеся при проведении болезненных процедур методы обезболивания и методы умерщвления животных.

Изложение статьи должно быть ясным, сжатым, без длинных исторических введений и повторов. Предпочтение следует отдавать новым и проверенным фактам, результатам длительных исследований, важных для решения практических вопросов.

Следует указывать, являются ли приводимые числовые значения первичными или производными, приводить пределы точности, надежности, интервалы достоверности.