



# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ТРАНСПЕДИКУЛЯРНОЙ ФИКСАЦИИ РАСТУЩЕГО ПОЗВОНОЧНО- ДВИГАТЕЛЬНОГО СЕГМЕНТА

С.В. Виссарионов<sup>1, 2</sup>, Д.Н. Кокушин<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И. Турнера

<sup>2</sup>Медицинская академия последипломного образования

<sup>3</sup>Детская инфекционная больница № 5 им. Н.Ф. Филатова, Санкт-Петербург

**Цель исследования.** Создание экспериментальной модели транспедикулярной фиксации и изучение ее влияния на развитие растущего позвоночно-двигательного сегмента.

**Материал и методы.** Изучены возрастные анатомические и гистологические особенности строения поясничных позвонков у 10 трехмесячных щенков. У 20 щенков, разделенных на четыре группы, на уровне L<sub>3</sub>–L<sub>4</sub> выполнено проведение транспедикулярных винтов.

**Результаты.** Установлено, что по гистологическому строению тело и основание дуги позвонка щенков идентично строению позвонка у детей младшего возраста. Во всех четырех группах животных при рентгенологическом контроле на протяжении периода наблюдения сохранялось стабильное правильное стояние винта, торсионных изменений тел позвонков, стеноза канала и деформации прилегающих сегментов не отмечалось.

**Заключение.** На основе созданной экспериментальной модели выявлено, что транспедикулярная фиксация не оказывает существенного отрицательного влияния на рост и развитие фиксированного позвоночно-двигательного сегмента у экспериментальных животных.

**Ключевые слова:** позвоночник, транспедикулярная фиксация, растущий позвоночно-двигательный сегмент, собака, экспериментальная модель.

EXPERIMENTAL MODEL OF TRANSPEDICULAR  
FIXATION OF A GROWING SPINAL  
MOTIONAL SEGMENT

V.S. Vissarionov, D.N. Kokushin

**Objective.** To develop an experimental model of transpedicular fixation and to study the effect of such fixation on a growing spinal motional segment.

**Material and Methods.** Age-related anatomic and histological peculiarities of the lumbar vertebrae were studied in ten 3-month-old puppies. Another 20 puppies were divided into four groups and underwent transpedicular fixation at L3-L4.

**Results.** It was revealed that a histological structure of the vertebral body and pedicle in puppies is identical to that in younger children. X-ray examinations revealed stability of screws and constructions in four groups during the observation period. There were no torsion deformations of the vertebral bodies, canal stenosis and deformation of adjacent segments.

**Conclusion.** Basing on the created experimental model it was revealed that transpedicular fixation did not exert negative effect on a growth and development of a fixed spinal motional segment in experimental animals.

**Key Words:** spine, transpedicular fixation, growing spinal-motional segment, dog, experimental model.

Hir. Pozvonoc. 2007;(1):75–80.

## Введение

Среди всех деформаций позвоночника врожденные аномалии развития позвонков составляют 2–11%. Наиболее часто выявляются врожденные сколиозы и кифосколиозы на фоне нарушения формирования тел позвонков. Оптимальным методом хирургического лечения врожденных сколиозогенных аномалий являются

переднезадняя реконструкция и стабилизация зоны порока с применением металлоконструкции [3–5].

На протяжении многих лет методика экзцизий боковых и заднебоковых полупозвонков претерпевала ряд изменений: постепенно аллокость, используемая для костной пластики, заменялась аутокостью, переднебоковой спондилодез на протяжении двух-трех позвоночно-двигательных сег-

ментов замещался корпородезом одного-двух сегментов, сокращалась протяженность заднего спондилодеза [1]. Традиционно у детей младшего возраста для фиксации позвоночника использовалась система с крючковыми опорными элементами. Появление новых спинальных имплантатов для коррекции и стабилизации позвоночного сегмента позволило активно использовать металлоконструкции

с транспедикулярными элементами фиксации [7–11].

Стабилизация позвоночно-двигательного сегмента с помощью транспедикулярных винтов имеет ряд преимуществ по сравнению с крючковыми системами: исключаются перелом дуги позвонка, апофизеоз по ростковой зоне межпозвоночного хряща, уменьшается зона фиксации позвоночных сегментов при возможном недоразвитии или неполноценности задних костных опорных структур.

Имеются единичные исследования, посвященные попытке оценить стабильность установленной конструкции у растущих экспериментальных животных, определить влияние фиксации на рост смежных сегментов и позвоночника в целом [2, 6]. Однако эти работы не раскрывают характер влияния транспедикулярной стабилизации на рост и развитие фиксированных позвоночно-двигательных сегментов.

Цель исследования – создание экспериментальной модели транспедикулярной фиксации и изучение ее влияния на развитие растущего позвоночно-двигательного сегмента.

### Материал и методы

Изучение возрастных анатомических и гистологических особенностей строения поясничных позвонков проведено у 10 трехмесячных щенков породы лайка по следующей методике: выделение и скелетирование задних костных структур позвонков поясничного отдела; удаление остистых отростков и дуг позвонков; измерение вертикального и горизонтального размеров основания дуг поясничных позвонков и определение их пространственной ориентации (табл. 1).

После изучения вертикального и горизонтального размеров основания дуг поясничных позвонков осуществляли забор позвонков в сегменте от L<sub>1</sub> до L<sub>5</sub>; определяли длину основания дуги и тела позвонка – максимальный размер винтового пути (табл. 2), осуществляли измерение высоты и ширины тел позвонков поясничного отдела.

Высота тел поясничных позвонков колебалась от 12,5 мм на уровне L<sub>1</sub> до 14,6 мм на уровне L<sub>5</sub>, ширина – от 18,3 до 20,8 мм соответственно.

На основании полученных данных были определены размеры транспедикулярных винтов металлоконструкции, необходимые для создания экспериментальной модели.

После изучения основных антропометрических параметров осуществлено гистологическое исследование L<sub>3</sub> и L<sub>4</sub> позвонков. Выполнено по три горизонтальных среза, проходящих через основание дуги и тело каждого позвонка. При микроскопическом исследовании установлено, что тело позвонка представлено островками костных трабекул в сочетании с хрящевой тканью. Дуга тела позвонка у щенка в возрасте трех месяцев полностью выполнена костной тканью. Зона перехода основания дуги в тело позвонка представлена хрящевой тканью.

Таким образом, установлено, что по гистологическому строению тело и основание дуги позвонка трехмесячных щенков породы лайка идентично строению позвонка у детей младшего возраста. Возраст от 3 до 12 мес. у экспериментальных животных соответствует росту скачку у детей дошкольного возраста.

Таблица 1

Вертикальный и горизонтальный размеры основания дуг поясничных позвонков, мм

Объект	L <sub>1</sub>		L <sub>2</sub>		L <sub>3</sub>		L <sub>4</sub>		L <sub>5</sub>	
	L	D	L	D	L	D	L	D	L	D
1	11,5	3,9	11,7	4,0	11,8	4,0	12,0	4,2	12,0	4,5
2	11,4	3,8	11,6	3,9	11,7	4,0	11,9	4,1	12,0	4,3
3	11,6	4,0	11,7	4,0	11,7	4,1	11,8	4,2	11,9	4,2
4	11,3	3,8	11,3	3,9	11,4	3,9	11,5	4,0	11,6	4,1
5	11,5	3,9	11,5	3,9	11,6	4,0	11,6	4,0	11,7	4,1
6	11,4	3,8	11,5	3,8	11,6	3,9	11,7	3,9	11,7	4,1
7	11,2	3,7	11,3	3,7	11,4	3,7	11,5	3,8	11,6	4,0
8	11,0	3,7	11,0	3,6	11,2	3,7	11,2	3,9	11,3	4,2
9	11,1	3,8	11,2	3,9	11,3	4,0	11,3	4,1	11,4	4,3
10	11,0	3,6	11,1	3,7	11,1	3,8	11,3	3,9	11,4	4,0
Среднее значение	11,3	3,8	11,3	3,8	11,5	3,9	11,6	4,0	11,7	4,2

L – вертикальный размер основания дуги; D – горизонтальный размер основания дуги.

*Экспериментальная часть исследования.* У 20 трехмесячных щенков породы лайка на уровне L<sub>3</sub>-L<sub>4</sub> осуществлено проведение транспедикулярных винтов. Животные были разделены на четыре группы (по пять особей в каждой) по следующему принципу: I группа – проведение транспедикулярного винта в тело L<sub>3</sub> с одной стороны; II – постановка двух транспедикулярных винтов в тело L<sub>3</sub> позвонка; III – установка транспедикулярной конструкции на уровне L<sub>3</sub> и L<sub>4</sub> с одной стороны и корпородез на этом же уровне; IV – транспедикулярная фиксация на уровне L<sub>3</sub> и L<sub>4</sub> с обеих сторон в сочетании с корпородезом.

Целью проведения корпородеза у животных III и IV групп было максимальное приближение эксперимента к условиям экзизии полупозвонка и реконструкции передней колонны позвоночника, проводимых у детей. Контроль положения винтов и металлоконструкции в ходе операции осуществляли при помощи рентгенограмм поясничного отдела позвоночника в прямой и боковой проекциях. В последующем выполняли рентгенограммы позвоночника в двух проекциях один раз в три месяца, оценивая стабильность винтов и конструкции, а также позицию позвонков в зоне

хирургического вмешательства, позвоночника в целом и формирование костного блока на уровне L<sub>3</sub>-L<sub>4</sub>. Нахождение имплантата в организме животного продолжалось шесть месяцев, то есть весь период активного роста собаки. После этого металлоконструкцию удаляли, за животными продолжали наблюдение еще три месяца, выполняя однократно рентгенограмму поясничного отдела позвоночника в двух проекциях. Особей выводили из эксперимента в возрасте 12 мес. (период окончания роста). Осуществляли забор позвонков, в которых располагались винты.

По макропрепаратам оценивали форму позвоночного канала, внешний вид основания дуги позвонка и его медиальную пластинку, положение остистого отростка во всех группах и симметричность основания дуг позвонков справа и слева в I и III группах. При гистологическом исследовании определяли строение основания дуги, тела позвонка и переходную зону.

Экспериментальное исследование проводилось на основании заключения Этического комитета, в соответствии с Международными требованиями по гуманному отношению к экспериментальным животным (1996), Европейской конвенцией по защите

позвоночных животных, используемых для экспериментальных и других научных целей (2002), а также российскими требованиями.

## Результаты

В I группе при рентгенологическом контроле у всех экспериментальных животных на протяжении периода наблюдения сохранялось стабильное правильное стояние винта, торсионных изменений тела позвонка L<sub>3</sub> и деформации прилегающих сегментов не отмечалось. Во всех наблюдениях отсутствовала девиация винта латерально или медиально относительно основания дуги позвонка (рис. 1).

При оценке макропрепарата не выявлена асимметрия между правой и левой половинами тела и дуги L<sub>3</sub> позвонка, в 60 % наблюдений отмечено отклонение остистого отростка позвонка в сторону, противоположную стоянию винта (рис. 2).

Деформации основания дуги позвонка и позвоночного канала в зоне стояния винта по сравнению с интактной стороной не отмечались. Деформации медиальной пластинки основания дуги не было ни в одном наблюдении. Отклонение остистого отростка в сторону, противоположную

Таблица 2

Длина основания дуги и тела позвонка (длина винтового пути), мм

Объект	L <sub>1</sub>		L <sub>2</sub>		L <sub>3</sub>		L <sub>4</sub>		L <sub>5</sub>	
	L	D	L	D	L	D	L	D	L	D
1	18,0	18,0	19,0	19,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
2	19,0	19,0	19,0	19,0	20,0	20,0	21,0	21,0	20,0	20,0
3	17,0	17,0	18,0	18,0	19,0	19,0	20,0	20,0	20,0	20,0
4	18,0	18,0	18,0	18,0	19,0	19,0	20,0	20,0	20,0	20,0
5	19,0	19,0	19,0	19,0	20,0	20,0	21,0	21,0	21,0	21,0
6	18,0	18,0	20,0	20,0	20,0	20,0	21,0	21,0	20,0	20,0
7	18,0	18,0	19,0	19,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
8	19,0	19,0	19,0	19,0	21,0	21,0	22,0	22,0	21,0	21,0
9	19,0	19,0	20,0	20,0	20,0	20,0	21,0	21,0	21,0	21,0
10	17,0	17,0	18,0	18,0	19,0	19,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Среднее значение	18,2	18,2	18,9	18,9	19,8	19,8	20,6	20,6	20,3	20,3

L – вертикальный размер основания дуги; D – горизонтальный размер основания дуги.



Рис. 1

Транспедикулярный винт, установленный в тело L<sub>3</sub> позвонка:  
а – прямая проекция;  
б – боковая проекция



Рис. 2

Препарат тела L<sub>3</sub> позвонка после выведения животного I группы из эксперимента: через 9 мес. после операции

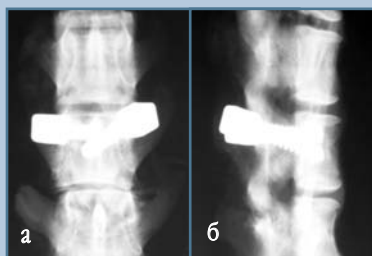


Рис. 3

Рентгенограмма L<sub>3</sub> позвонка с установленными транспедикулярными винтами:  
а – прямая проекция;  
б – боковая проекция

установленному винту, на наш взгляд, не связано с методикой транспедикулярной фиксации, а объясняется скелетированием задних опорных элементов поясничных позвонков с одной стороны или значительным размером головки винта, которая влияла на развитие остистого отростка во время роста экспериментального животного.

По гистологическому исследованию основания дуги, тела позвонка и зоны перехода со стороны стояния транспедикулярного винта видно, что все элементы представлены костной тканью. В 40 % наблюдений отмечено сохранение хрящевой структуры между основанием дуги и телом позвонка на стороне, противоположной фиксации транспедикулярным винтом. У остальных животных (60 %) зона перехода основания дуги в тело позвонка представлена костными балками и со стороны стояния винта, и с интактной стороны.

Во II группе у животных сохранялось правильное стояние винтов, их миграции не было. Рентгенологически значимых изменений со стороны тела позвонка L<sub>3</sub>, торсионных изменений позвонка и прилегающих позвоночно-двигательных сегментов в период всего наблюдения за животными не отмечалось (рис. 3).

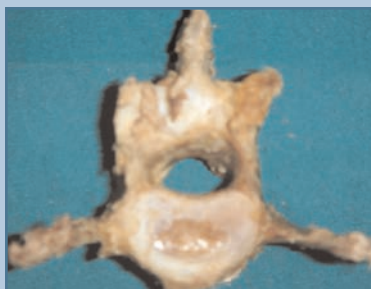


Рис. 4

Препарат тела L<sub>3</sub> позвонка после выведения животного II группы из эксперимента: через 9 мес. после операции

У всех животных сохранялась стабильность со стороны установленных винтов.

При оценке макропрепарата не отмечалось асимметрии развития правой и левой половин дуги и тела L<sub>3</sub> позвонка, а также отклонения остистого отростка. Деформации основания дуг позвонка и позвоночного канала в зоне стояния винтов не происходило. Медиальная пластинка основания дуги оставалась интактной (рис. 4).

При гистологическом исследовании препарата «основание дуги - тело позвонка» зона перехода представлена костными балками с обеих сторон.

В III группе отмечалось правильное стояние винтов металлоконструкции, девиации винтов латерально или медиально относительно основания дуг позвонков не наблюдалось. Перелома и дестабилизации конструкции не было (рис. 5, 6).

Торсионных изменений тел фиксированных позвонков и прилегающих позвоночно-двигательных сегментов не наблюдалось. Через шесть месяцев после операции сформировался выраженный костный блок между телами позвонков в зоне вмешательства.

При оценке макропрепарата не отмечалось значительной разницы между правой и левой половинами дуги L<sub>3</sub> и L<sub>4</sub> позвонков. У 60 % экспериментальных животных выявлено отклонение той или иной степени выраженности одного или двух остистых отростков позвонков с транспедикулярными винтами в сторону, противоположную стоянию конструкции. Деформации основания дуг позвонков и позвоночного канала в зоне установки винтов по сравнению с интактной стороной не происходило. При гистологическом исследовании основания дуг, тел позвонков и зоны перехода на стороне стояния транспедикулярных винтов все элементы представлены костными структурами. В 40 % наблюдений отмечено сохранение хрящевой структуры межпозвонковой зоны на контралатеральной стороне, у 60 % животных она



Рис. 5

Установленная конструкция на уровне L<sub>3</sub>-L<sub>4</sub> позвонков

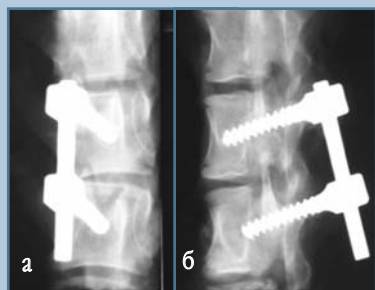


Рис. 6

Рентгенограмма L<sub>3</sub>-L<sub>4</sub> позвонков с установленной транспедикулярной конструкцией и корпородезом сразу после операции:

**а** – прямая проекция;  
**б** – боковая проекция

представлена костными балками с обеих сторон.

В IV группе отмечалось правильное стояние винтов металлоконструкции; девиации винтов латерально или медиально относительно основания дуг позвонков, перелома стержней и дестабилизации металлоконструкции не наблюдалось. Торсионных

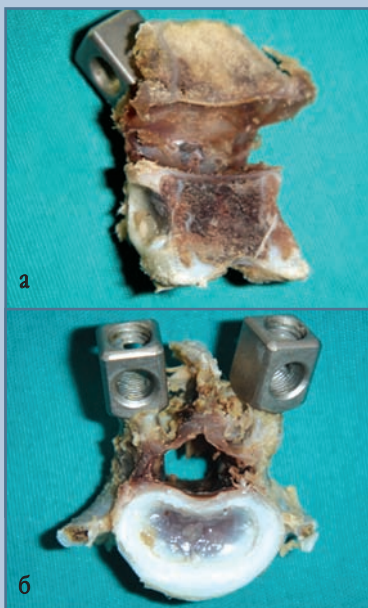


Рис. 7

Макропрепараты транспедикулярных винтов, установленных в тело L<sub>3</sub>:

**а** – животное погибло через 2 недели после операции;  
**б** – животное погибло через 3 недели после операции

изменений тел фиксированных позвонков и прилегающих позвоночно-двигательных сегментов не происходило. Через 6 мес. после операции рентгенологически отмечено формирование выраженного костного блока в зоне хирургического вмешательства.

При оценке макропрепарата у животных данной группы деформации основания дуг позвонков и позвоночного канала в зоне фиксации не происходило, отклонения остистых отростков позвонков в зоне стояния конструкции не выявлено. Медиальные пластинки основания дуги тел

позвонков не деформированы. При гистологическом исследовании препарата «основание дуги – тело позвонка» зона перехода представлена костными балками с обеих сторон.

**Осложнения.** У одного животного после выполненной операции отмечались неврологические нарушения в виде парезов. У двух щенков имел место летальный исход через две и три недели после хирургического вмешательства. При вскрытии четкой причины смерти установить не удалось, повреждений жизненно важных структур и крупных сосудов в зоне хирургического вмешательства обнаружено не было. Макропрепараты этих животных позволили убедиться в возможности осуществления транспедикулярной фиксации позвоночно-двигательного сегмента и оценить правильность установки винтов (рис. 7).

## Выводы

1. Выполненное исследование позволило создать экспериментальную модель транспедикулярной стабилизации растущего позвоночно-двигательного сегмента.
2. Транспедикулярная фиксация не оказывает существенного отрицательного влияния на рост и развитие фиксированного позвоночно-двигательного сегмента у экспериментальных животных.
3. Применение винтов, установленных как с одной, так и с обеих сторон, в том числе в сочетании с фиксацией позвоночно-двигательного сегмента стержнями, не приводит к развитию торсии позвонков, асимметрии роста их половин и стенозу позвоночного канала у экспериментальных животных.

## Литература

1. Михайловский М.В., Фомичев Н.Г. Хирургия деформаций позвоночника. Новосибирск, 2002.
2. Ким В.Дж., Койллард К., Ралми С. и др. Влияние сегментарной транспедикулярной фиксации на активно растущий позвоночник: длительное экспериментальное исследование // Хирургия позвоночника. 2005. № 1. С. 105–111.
3. Ульрих Э.В., Виссарионов С.В., Мушкин А.Ю. Хирургическое лечение врожденных сколиозогенных нарушений формирования позвонков у детей раннего возраста с использованием имплантатов транспедикулярной фиксации // Хирургия позвоночника. 2005. № 3. С. 56–60.
4. Ульрих Э.В. Аномалии позвоночника у детей. СПб., 1995.
5. Ульрих Э.В., Мушкин А.Ю. Вертебрология в терминах, цифрах, рисунках. СПб., 2002.
6. Cil A., Yazici M., Daglioglu K., et al. The effect of pedicle screw placement with or without application of compression across the neurocentral cartilage on the morphology of the spinal canal and pedicle in immature pigs // Spine. 2005. Vol. 30. P. 1287–1293.
7. Ferree B.A. Morphometric characteristics of pedicles of the immature spine // Spine. 1992. Vol. 17. P. 887–891.
8. Maat G.J., Matricali B., van Persijn van Meerten E.L. Postnatal development and structure of the neurocentral junction. Its relevance for spinal surgery // Spine. 1996. Vol. 21. P. 661–666.
9. Ruf M., Harms J. Pedicle screws in 1- and 2-year-old children: technique, complications, and effect on further growth // Spine. 2002. Vol. 27. P. 460–466.
10. Wild A., Jager M., Kramer R., et al. A new technique for the surgical management of deformities in the growing spine // Biomed Tech (Berl). 2002. Vol. 47. P. 270–271.
11. Zindrick M.R., Knight G.W., Sartori M.J., et al. Pedicle morphology of the immature thoracolumbar spine // Spine. 2000. Vol. 25. P. 2726–2735.

### Адрес для переписки:

Виссарионов Сергей Валентинович  
196603, Санкт-Петербург, Пушкин,  
ул. Парковая, 64/68,  
НИДОИ им. Г.И.Турнера,  
turner01@mail.ru

Статья поступила в редакцию 30.09.2006