



БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ХОДЬБЫ У БОЛЬНЫХ ИДИОПАТИЧЕСКИМ СКОЛИОЗОМ II–III СТЕПЕНИ

А.А. Скоблин, А.С. Витензон, И.Г. Алексеенко

Федеральное бюро медико-социальной экспертизы, Москва

Цель исследования. Анализ биомеханической структуры ходьбы больных идиопатическим сколиозом II и III степени С-образного и S-образного типа.

Материал и методы. Использована компьютерная биомеханическая методика, позволившая получить основные, временные, кинематические и динамические характеристики ходьбы посредством электроподографии, электрогониографии и электродинамографии.

Результаты. Установлены следующие изменения структуры локомоции: сокращение длины шага и средней скорости передвижения, возрастание длительности двухопорной фазы, уменьшение τ -интервала на вогнутой стороне искривления, увеличение вращательных движений таза и плечевого пояса, редукция экстремальных значений опорных реакций. Отмеченные нарушения структуры ходьбы усиливаются при переходе от II к III степени сколиоза, сильнее они выражены при С-образном типе сколиоза.

Заключение. Большая часть изменений биомеханических параметров является компенсаторной реакцией организма на понижение устойчивости при ходьбе в связи с деформацией позвоночника и прогрессирующим ослаблением функции мышц туловища.

Ключевые слова: биомеханические параметры ходьбы, идиопатический сколиоз II–III степени.

BIOMECHANICAL PARAMETERS OF WALKING
IN PATIENTS WITH II-III GRADE IDIOPATHIC
SCOLIOSIS

A.A. Scoblin, A.S. Vitenzon, I.G. Alekseenko

Objective. To analyze biomechanical structure of walking in patients with II and III grade C-type and S-type idiopathic scoliosis.

Material and Methods. Computer-based biomechanical testing was used to obtain main, temporal, kinematic, and dynamic characteristics of walking by means of electropodography, electrogoniography, and electrodynamicography.

Results. The following changes in locomotion structure were found: diminution of step length and average walking velocity, increase in duration of a double-support phase, decrease in τ -interval on a concave side of the curvature, expansion of rotatory movements of the pelvis and shoulder girdle, and reduction of extreme values of support reactions. The walking structure disturbances are increasing with scoliosis transfer from II to III grade and are more expressed in C-type curvature.

Conclusion. Most of changes in biomechanical parameters represent the compensatory response of the body to walking stability decrease caused by the spine deformity and progressing trunk muscle weakening.

Key Words: biomechanical parameters of walking, II–III grade idiopathic scoliosis.

Hir. Pozvonoc. 2007;(4):35–40.

Введение

Несмотря на большое число работ по исследованию сколиотической болезни [1, 6, 8], до сих пор отсутствуют подробные сведения о структуре ходьбы больных с деформацией позвоночника II–III степени. Вместе с тем выявление тонких диагностических признаков, характеризующих различные стадии патологического процесса, необходимо как для выбора

адекватных методов лечения, так и для целенаправленного поиска мероприятий, способствующих профилактике заболевания. Такая информация также чрезвычайно полезна для объективной оценки нарушений движения в системе медико-социальной экспертизы.

Цель работы – анализ ходьбы больных идиопатическим сколиозом (ИС) II–III степени по биомеханическим критериям локомоции.

Метод и материалы

Объекты исследования – 12 здоровых человек подросткового возраста и 50 больных ИС.

Больные разделены на четыре группы: 1-я – 10 человек с С-образным ИС II степени (III, IV тип по King) [9]; 2-я – 10 человек с S-образным ИС III степени (I, II тип по King); 3-я – 20 человек с С-образным ИС III степени (III, IV тип по King); 4-я – 10 чело-

век с S-образным ИС III степени (I, II тип по King).

В табл. 1 приведены рентгенологические показатели деформации позвоночника больных данных клинических групп.

Для обследования больных применен комплекс биомеханических методов исследования, включающий электроподографию, электрогониографию и электродинамографию [5]. Регистрации подлежали следующие характеристики ходьбы:

- основные – темп, длина шага, средняя скорость;
- временные – длительность опорной, переносной, 2-опорной фаз, интервалов опоры на пятку, всю стопу, носок, τ -интервал (время

от начала опоры на носок другой ноги до наступания на пятку другой ноги, является показателем устойчивости при ходьбе), коэффициент ритмичности;

- кинематические – угловые перемещения в тазобедренном (ТБС), коленном (КС) и голеностопном (ГСС) суставах, ротационные движения тазового и плечевого суставов относительно трех плоскостей;
- динамические – вертикальная (R_z), продольная (R_x), поперечная (R_y) составляющие главного вектора опорной реакции.

Полученные результаты обрабатывались с частотой 200 раз в секунду при помощи 12-разрядного аналогово-цифрового преобразователя спе-

циальной программой на персональном компьютере.

Результаты и их обсуждение

Данные исследований, приведенные в табл. 2, 3 и на рис. 1, 2, позволяют характеризовать параметры биомеханической структуры ходьбы больных ИС II–III степени по сравнению со здоровыми испытуемыми.

Основные характеристики. У больных ИС II–III степени отмечаются следующие изменения основных параметров ходьбы: снижается темп, сокращается длина шага, уменьшается средняя скорость передвижения. Ухудшение основных параметров ходьбы намечается уже при II степени ИС, уве-

Таблица 1

Рентгенологические показатели в группах первичных больных идиопатическим сколиозом, $M \pm m$

Показатели	Группы пациентов			
	1-я	2-я	3-я	4-я
Общий угол основной дуги, град.	20,3 \pm 1,2	45,3 \pm 3,2	24,8 \pm 0,8	41,3 \pm 2,5
Общий угол противодуги, град.	—	—	22,5 \pm 0,9	32,7 \pm 2,1
Угол ротации позвонков, град.	12,7 \pm 0,8	28,3 \pm 2,0	15,5 \pm 0,5	25,8 \pm 1,6
Индекс стабильности	0,84 \pm 0,05	0,88 \pm 0,05	0,82 \pm 0,05	0,88 \pm 0,03

Таблица 2

Основные и временные характеристики ходьбы здоровых подростков школьного возраста ($n = 12$) и больных C-образным типом идиопатического сколиоза II степени ($n = 10$), $M \pm m$

Характеристики	Норма	Вогнутая сторона	По отношению к норме, %	Выпуклая сторона	По отношению к норме, %
Пережат через пятку, %	6,5 \pm 0,2	6,1 \pm 0,4*	94	5,1 \pm 0,5**	78
Опора на всю стопу, %	37,9 \pm 1,2	39,9 \pm 1,3*	105	38,7 \pm 1,2*	102
Пережат через носок, %	20,2 \pm 1,4	19,2 \pm 1,4*	95	22,7 \pm 1,5*	112
Фаза переноса, %	35,4 \pm 0,5	34,8 \pm 1,0*	98	33,5 \pm 0,7**	95
2-опорная фаза, %	13,8 \pm 0,5	15,2 \pm 0,4**	110	16,5 \pm 0,7**	120
Интервал τ , %	6,1 \pm 0,7	4,1 \pm 0,6**	67	5,8 \pm 0,8*	95
Длина двойного шага, м	1,34 \pm 0,03	1,25 \pm 0,02**	93	—	—
Скорость ходьбы, м/с	1,17 \pm 0,06	1,05 \pm 0,05*	90	—	—
Общая длительность цикла ходьбы, с	1,15 \pm 0,03	1,19 \pm 0,02*	103	—	—
Темп, шаг/мин	104 \pm 2	101 \pm 2*	97	—	—
Коэффициент ритмичности	0,98 \pm 0,03	0,96 \pm 0,03*	98	—	—

* $P > 0,05$;

** $P < 0,05$.

личивается и становится достоверным при III степени, особенно при С-образном типе искривления позвоночника.

Временные характеристики. Наряду с редукцией основных показателей ходьбы происходят негативные изменения временных: снижается коэффициент ритмичности, увеличива-

ется длительность 2-опорной фазы, преимущественно на выпуклой стороне искривления, снижается продолжительность положительного τ -интервала, в основном на вогнутой стороне деформации, растет время опоры на всю стопу и сокращается время опоры на пятку и носок. Нарушение временных параметров выра-

жено сильнее при III степени С-образного ИС. Отмеченная симптоматика указывает на возникновение неустойчивости больных при ходьбе.

Кинематические характеристики. По мере прогрессирования деформации позвоночника изменяются также пространственные характеристики ходьбы: основная тенденция сводится

Таблица 3

Основные и временные характеристики ходьбы здоровых подростков школьного возраста ($n = 12$) и больных С-образным типом идиопатического сколиоза III степени ($n = 20$), $M \pm m$

Характеристики	Норма	Вогнутая сторона	По отношению к норме, %	Выпуклая сторона	По отношению к норме, %
Пережат через пятку, %	$6,5 \pm 0,2$	$5,7 \pm 0,2^*$	88	$4,8 \pm 0,3^*$	74
Опора на всю стопу, %	$37,9 \pm 1,2$	$43,7 \pm 1,4^*$	115	$40,5 \pm 1,3^{**}$	107
Пережат через носок, %	$20,2 \pm 1,4$	$15,8 \pm 1,4^*$	78	$22,7 \pm 1,3^{**}$	112
Фаза переноса, %	$35,4 \pm 0,5$	$34,8 \pm 1,0^{**}$	98	$32,0 \pm 0,7^*$	90
2-опорная фаза, %	$13,8 \pm 0,5$	$15,2 \pm 0,4^*$	110	$18,0 \pm 0,8^*$	130
Интервал τ , %	$6,1 \pm 0,7$	$2,0 \pm 0,6^*$	33	$4,7 \pm 1,2^{**}$	77
Длина двойного шага, м	$1,34 \pm 0,03$	$1,17 \pm 0,04^*$	87	—	—
Скорость ходьбы, м/с	$1,17 \pm 0,06$	$0,94 \pm 0,07^*$	80	—	—
Общая длительность цикла ходьбы, с	$1,15 \pm 0,03$	$1,25 \pm 0,02^*$	109	—	—
Темп, шаг/мин	104 ± 2	$96 \pm 2^*$	92	—	—
Коэффициент ритмичности	$0,98 \pm 0,03$	$0,92 \pm 0,03^{**}$	94	—	—

* $P < 0,05$;

** $P > 0,05$.

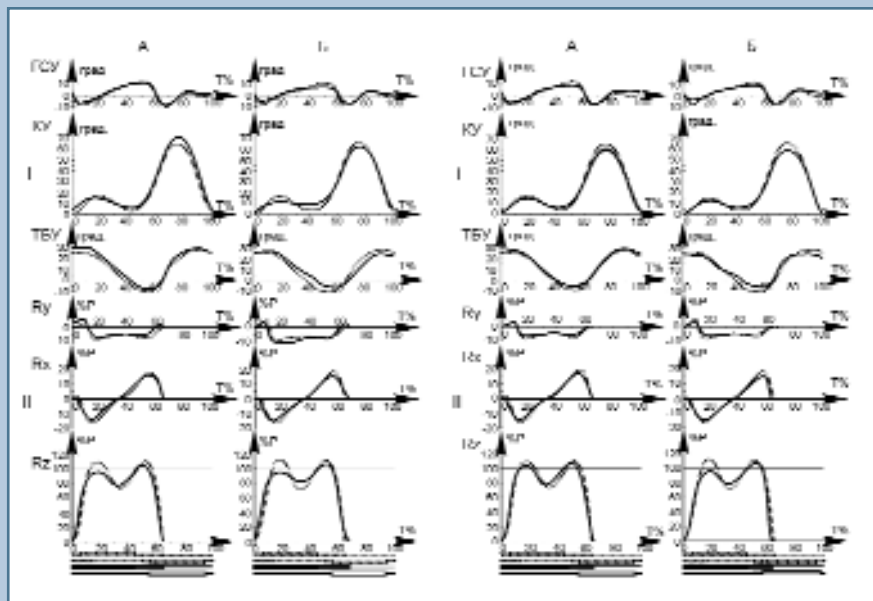


Рис. 1

Угловые перемещения в голеностопном (ГСУ), коленном (КУ) и тазобедренном (ТБУ) суставах (I); опорные реакции: R_y – поперечная, R_x – продольная, R_z – вертикальная составляющие (II); норма – пунктир, больные – сплошная линия; под графиком подграмма (а – больные с С-образным сколиозом III степени, б – больные с S-образным сколиозом III степени); А – вогнутая сторона сколиотического искривления; Б – выпуклая сторона сколиотического искривления

к некоторому уменьшению амплитуды движений в основных суставах нижних конечностей. Более подробное рассмотрение этого вопроса показывает, что снижается величина движения преимущественно в опорной фазе шага (подощенное и тыльное сгибание в ГСС, сгибание КС в на-

чале опоры, разгибание в ТБС в конце опоры), кроме того, отмечается небольшое уменьшение сгибания в КС в переносную фазу (рис. 1).

Весь комплекс этих симптомов, по-видимому, также отражает стремление больных к поддержанию вертикальной позы в связи с нарастающей

неустойчивостью походки, которая провоцируется резким возрастанием колебаний туловища относительно фронтальной, сагиттальной и горизонтальной плоскостей (табл. 4, рис. 2). При этом увеличение вращательных движений таза и плечевого пояса наблюдается как при С-образ-

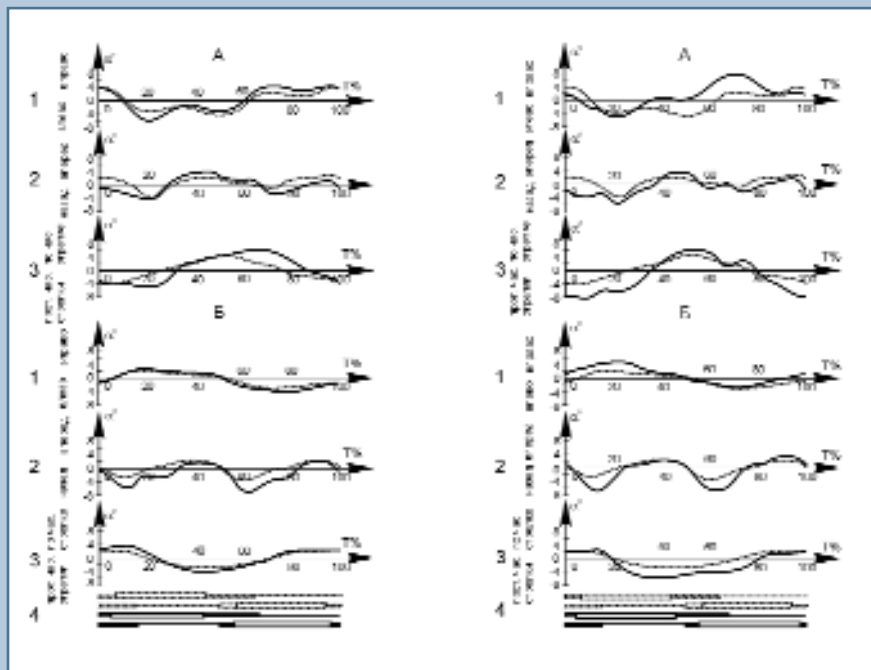


Рис. 2

Угловые перемещения таза (А) и плечевого пояса (Б) при ходьбе в норме (пунктир) и у больных (сплошная линия) С-образным сколиозом II (а) и III степени (б):

- 1 – фронтальная плоскость;
- 2 – сагиттальная плоскость;
- 3 – горизонтальная плоскость;
- 4 – подограмма

Таблица 4

Размах вращательных движений таза и плечевого пояса при ходьбе в норме и у больных идиопатическим сколиозом (ИС), град., $M \pm m$

Сегмент	Фронтальная плоскость			Сагиттальная плоскость			Горизонтальная плоскость		
	норма (n = 12)	ИС (n = 10)	по отношению к норме, %	норма (n = 12)	ИС (n = 10)	по отношению к норме, %	норма (n = 12)	ИС (n = 10)	по отношению к норме, %
С-образный сколиоз II степени									
Тазовый пояс	$8,40 \pm 0,64$	$10,10 \pm 0,41^*$	120	$6,50 \pm 0,39$	$8,20 \pm 0,48^*$	126	$8,70 \pm 0,19$	$11,40 \pm 0,98^*$	131
Плечевой пояс	$5,20 \pm 0,15$	$6,40 \pm 0,43^*$	123	$5,50 \pm 0,28$	$9,00 \pm 1,15^*$	164	$5,00 \pm 0,28$	$7,70 \pm 0,85^*$	154
С-образный сколиоз III степени									
Тазовый пояс	$8,40 \pm 0,64$	$13,10 \pm 1,5^*$	156	$6,50 \pm 0,39$	$9,40 \pm 0,98^*$	145	$8,70 \pm 0,19$	$14,40 \pm 1,9^*$	166
Плечевой пояс	$5,20 \pm 0,15$	$7,90 \pm 0,89^*$	152	$5,50 \pm 0,28$	$10,20 \pm 1,53^*$	185	$5,00 \pm 0,28$	$8,50 \pm 1,32^*$	170
С-образный сколиоз II степени									
Тазовый пояс	$8,40 \pm 0,64$	$10,60 \pm 0,72^*$	126	$6,50 \pm 0,39$	$7,80 \pm 0,52^{**}$	120	$8,70 \pm 0,19$	$10,00 \pm 0,87^{**}$	115
Плечевой пояс	$5,20 \pm 0,15$	$6,30 \pm 0,39^*$	121	$5,50 \pm 0,28$	$8,30 \pm 0,99^*$	151	$5,00 \pm 0,28$	$6,20 \pm 0,48^*$	124
С-образный сколиоз III степени									
Тазовый пояс	$8,40 \pm 0,64$	$13,20 \pm 1,48^*$	157	$6,50 \pm 0,39$	$8,90 \pm 0,67^*$	137	$8,70 \pm 0,19$	$13,20 \pm 1,74^*$	152
Плечевой пояс	$5,20 \pm 0,15$	$7,90 \pm 0,87^*$	152	$5,50 \pm 0,28$	$9,20 \pm 1,36^*$	167	$5,00 \pm 0,28$	$7,90 \pm 0,97^*$	158

* $P < 0,05$;

** $P > 0,05$.

ном, так и при S-образном типах ИС. Прослеживается четкая закономерность: размах вращательных движений растет при переходе от II к III степени деформации позвоночника.

Динамические характеристики. Судя по динамограммам, нарушения формы кривых опорных реакций мало заметны при II степени C-образного и S-образного ИС, но они приобретают достаточную отчетливость при искривлении позвоночника III степени. На рис. 1 видно, что как на выпуклой, так и на вогнутой стороне деформации происходит уменьшение экстремальных значений кривой R_z в области переднего и заднего толчка; одновременно повышается значение минимума кривой; также становится меньше экстремум кривой R_x и несколько увеличивается величина кривой R_y на выпуклой стороне искривления.

Отмеченные изменения опорных реакций, с одной стороны, отражают понижение основных параметров ходьбы (темпа и длины шага), а с другой – представляют собой компенсаторное приспособление, способствующее ослаблению опорных толчков, которые усиливают вращательные движения таза [2].

Приведенные материалы позволяют проследить всю сложность перестроек, возникающих в биомеханической структуре ходьбы при разных стадиях развития сколиотического процесса.

Согласно литературным данным [3, 7], при I степени ИС искривление позвоночника практически полностью компенсируется мышцами туловища и связочным аппаратом, поэтому отсутствуют нарушения походки: основные и временные параметры шага приближаются к возрастной норме, также не изменяется кинематика и динамика ходьбы.

У больных ИС II степени, особенно при C-образном типе, вследствие усугубления деформации позвоночника и дальнейшего ослабления мышц туловища [4] появляются нерезко выраженные изменения походки; при этом наиболее тонкими биомеха-

ническими показателями являются увеличение длительности 2-опорной фазы, уменьшение τ -интервала, возрастание вращательных движений таза и плечевого пояса.

Эта симптоматика неодинаково выражена относительно сторон деформации позвоночника: так 2-опорная фаза в большей мере увеличена на выпуклой стороне, а τ -интервал более уменьшен на вогнутой. Изменение этих параметров характеризует возникшую неустойчивость больных при ходьбе, которая связана с перемещением общего центра масс (ОЦМ) тела при ходьбе в вогнутую сторону деформации позвоночника и увеличением вращательных движений туловища. Этот патологический процесс резко возрастает при III степени ИС в результате прогрессирующего ослабления функции мышц туловища и еще большего смещения ОЦМ. К тому же в связи с необходимостью сохранения прямохождения увеличивается амплитуда вращательных движений таза и плечевого пояса. Изменения биомеханических параметров ходьбы при S-образном типе ИС несколько менее выражены в связи с тем, что формирование двух дуг деформации (основной и противоискривления) влечет за собой меньшее смещение ОЦМ по сравнению с C-образным типом.

Усилению колебаний туловища противостоит уменьшение длины шага и связанная с ним редукция экстремальных значений угловых перемещений и опорных реакций [2]. Ославление опорных толчков и уменьшение сгибательной позиции нижних конечностей в опорную фазу шага служит компенсаторным приспособлением, способствующим улучшению вертикальной позы больных ИС при ходьбе.

Таким образом, вся цепь биомеханических событий, происходящих у больных II и III степени ИС при ходьбе, по существу, сводится к сохранению прямохождения в условиях прогрессирующей деформации позвоночника и значительного снижения функции мышц туловища.

Заключение

При ходьбе больных ИС II–III степени независимо от типа сколиоза отмечаются следующие нарушения биомеханической структуры ходьбы: увеличение длительности локомоторного цикла, уменьшение длины шага, снижение средней скорости передвижения, большая по сравнению с нормой продолжительность 2-опорной фазы, меньшая величина τ -интервала, уменьшение максимальных значений угловых перемещений в суставах ноги в опорной фазе, увеличение амплитуды вращательных движений таза и плечевого пояса относительно трех плоскостей, редукция экстремумов вертикальной и продольной составляющих опорной реакции.

Все отмеченные нарушения биомеханической структуры ходьбы резко усиливаются при переходе от II к III степени сколиоза и более выражены при C-образном типе искривления. Большинство симптомов изменения структуры локомоции – это компенсаторная реакция организма на понижение устойчивости при ходьбе в связи с деформацией позвоночника и прогрессирующим ослаблением функции мышц туловища.

Литература

1. **Беленький В.Е.** Биомеханические аспекты патогенеза и лечения диспластического сколиоза: Дис. ... д-ра мед. наук. М., 1982.
2. **Витензон А.С., Беленький В.Е.** Механизмы вращательных движений таза и позвоночника // Ортопед, травматол., протезир. 1976. № 6. С. 58–64.
3. **Витензон А.С., Паламарчук Е.Э.** Коррекция движений позвоночника посредством электростимуляции мышц при ходьбе больных с начальными степенями сколиотической болезни // Искусственная коррекция движений при патологической ходьбе / Под ред. А.С. Витензона. М., 1999. С. 244–295.
4. **Витензон А.С., Скоблин А.А., Алексеев И.Г.** Изменение функции мышц туловища и нижних конечностей при идиопатическом сколиозе II–III степени // Хирургия позвоночника. 2007 № 3. С. 31–35.
5. **Гриценко Г.П., Витензон А.С., Славцкий Я.Л. и др.** Биомеханический комплекс для оценки ходьбы в норме и при нарушениях опорно-двигательного аппарата // Протезирование и протезостроение. М., 1997. Вып. 94. С. 84–87.
6. **Казьмин А.И., Кон И.И., Беленький В.Е.** Сколиоз. М., 1981.
7. **Паламарчук Е.Э.** Клинико-биомеханическое и физиологическое обоснование электростимуляции мышц при ходьбе больных с начальными степенями сколиоза: Дис. ... канд. мед. наук. М., 1995.
8. **Чаклин В.Д., Абальмасова Е.А.** Сколиоз и кифозы. М., 1973.
9. **King H.A., Moe J.H., Bradford D.S., et al.** The selection of fusion levels in thoracic idiopathic scoliosis // J. Bone Joint Surg. Am. 1983. Vol. 65. P. 1302–1313.

Адрес для переписки:

Скоблин Алексей Анатольевич
127486, Москва, ул. Ивана Сусанина, 3,
Федеральное бюро медико-социальной
экспертизы,
al_skoblin@mail.ru

Статья поступила в редакцию 29.06.2007

**Кафедра вертебрологии ФПК и ППв
Новосибирского государственного медицинского университета
на базе Новосибирского НИИТО приглашает на курсы
послевузовского дополнительного образования**

В 2008 г. для травматологов-ортопедов предлагаются
сертификационные курсы тематического усовершенствования

1. «Хирургия заболеваний и повреждений позвоночника»
продолжительностью 2 мес. (288 ч)
2. «Эндопротезирование и эндоскопическая хирургия суставов конечностей»
продолжительностью 2 мес. (288 ч)

Сроки проведения:

14.01.08–23.02.08
25.02.08–05.04.08
07.04.08–17.05.08
15.09.08–25.10.08
27.10.08–29.11.08

Новосибирский НИИТО осуществляет также обучение
травматологов-ортопедов, нейрохирургов, анестезиологов на рабочих местах
в клиниках по индивидуально согласованным срокам.

E-mail: ITivakova@niito.ru

Тел.: (383) 224-47-77
Факс: (383) 224-55-70