



# ИНТРАОПЕРАЦИОННОЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СПИННОГО МОЗГА ПРИ ОСТРОЙ ПОЗВОНОЧНО- СПИННОМОЗГОВОЙ ТРАВМЕ

**А.Ф. Курамшин, Ш.М. Сафин, Р.А. Валишин, Г.Н. Аверцев, Н.К. Васильева**

*Республиканская клиническая больница им. Г.Г. Куватова, Уфа*

**Цель исследования.** Анализ использования интраоперационного ультразвукового исследования и ультразвуковой доплерографии у пациентов с острой позвоночно-спинномозговой травмой.

**Материал и методы.** Для изучения патологических структурных и гемодинамических нарушений 10 пациентам интраоперационно проведен комплекс ультразвуковых визуализационных исследований до и после декомпрессии спинного мозга. При ультразвуковом исследовании изучены твердая мозговая оболочка, субдуральное пространство, ликвор, спинной мозг, корешки спинного мозга и конского хвоста. В режимах цветового доплеровского картирования и ультразвукового дуплексного сканирования идентифицированы артериальные и венозные сосуды спинного мозга, их анатомические особенности, определены линейная и объемная скорости кровотока, резистивный и пульсационный индексы. При ультразвуковой доплерографии сосудов спинного мозга оценивались форма доплеровского спектра, скоростные и резистивные показатели кровотока по спинальной артерии.

**Результаты.** Достоверно выявлены компрессия, кисты и гематомы спинного мозга, контузионные очаги, субдуральные гематомы, в васкулярных режимах — стенозирующие и окклюзирующие поражения спинальной артерии, гиперперфузия и затрудненная перфузия спинного мозга, редуцированный кровоток и венозная дисциркуляция.

**Заключение.** Комплексная интраоперационная ультразвуковая диагностика у пациентов с острой позвоночно-спинномозговой травмой подтверждает высокую эффективность методики в оценке локальных структурных изменений и гемодинамических нарушений при травматическом повреждении спинного мозга, проста в применении, высокоинформативна, сопоставима с данными МРТ и может быть рекомендована к широкому применению при диагностике осложненных травм позвоночника.

**Ключевые слова:** ультразвуковое исследование, позвоночно-спинномозговая травма, интраоперационная диагностика, операции при позвоночно-спинномозговой травме, ультразвуковая доплерография спинного мозга.

## INTRAOPERATIVE ULTRASONOGRAPHY OF THE SPINAL CORD IN ACUTE SPINAL CORD INJURY

*A.F. Kuramshin, Sh.M. Safin, R.A. Valishin,  
G.N. Avertsev, N.K. Vasilieva*

**Objective.** To analyze application of intraoperative ultrasonography and Doppler ultrasonography in patients with acute spinal cord injury.

**Material and Methods.** A complex of intraoperative ultrasonography examinations was performed in 10 patients before and after spinal cord decompression to study pathological structural and hemodynamic lesions. Dura mater, subdural space, liquor, spinal cord, roots of the spinal cord and cauda equina were studied. Color Doppler mapping and ultrasonic duplex scanning were used to identify the arterial and venous vessels of the spinal cord, their anatomic features, linear and volume velocities of the blood flow, resistive and pulsate indices. Doppler ultrasonography of spinal cord vessels included assessment of Doppler spectrum shape, velocity and resistive parameters of the blood flow in the spinal artery.

**Results.** Complex ultrasonic visualization examinations reliably detected spinal cord compressions, cysts, hematoma, contusion foci and subdural hemorrhages. A vascular mode revealed spinal artery occlusion and stenosis, hyper- and hypoperfusion of spinal vessels, reduced blood flow and venous dyscirculation.

**Conclusion.** Thus, methods of complex intraoperative spinal cord ultrasonography are found to be very effective for evaluation of local structural and hemodynamic disturbances caused by spinal cord injury. These ultrasonic techniques are simple in use, highly informative, and comparable with MRI data. These ultrasonic techniques may be recommended for wide application in acute spinal cord injury diagnostics.

**Key Words:** ultrasonography, acute spinal cord injury, intraoperative diagnostics, surgery for acute spinal cord injury, Doppler ultrasonography of the spinal cord.

*Hir. Pozvonoc. 2007;(4):14–20.*

В связи с увеличением количества пациентов с острой позвоночно-спинномозговой травмой (ПСМТ) проблемы своевременной диагностики и определения объема предстоящего нейрохирургического вмешательства становятся все более значимыми. За 1997–2004 гг. в Москве количество спинальных пациентов возросло в 2,8 раза [4], заметно увеличилось число пострадавших в Санкт-Петербурге [6], в Республике Башкортостан за 2003–2005 гг. отмечается значительное увеличение пострадавших с осложненной травмой позвоночника – с 14,5 до 26,7 человек на 1 млн жителей [7].

Многие вопросы восстановления физиологической оси позвоночника уже решены с помощью широкого выбора стабилизирующих систем, однако проблема диагностики повреждений спинного мозга, его пред- и интраоперационная визуализация актуальны до настоящего времени.

Наиболее диагностически точным методом визуализации на сегодняшний день является МРТ. Но не везде и не всегда ее можно провести больным с острой ПСМТ. Возможности

МРТ ограничены как в объеме визуализации, так и в физических свойствах самой методики, кроме того, интраоперационные обследования с помощью МРТ доступны не во всех клиниках. Более доступным и визуально значимым методом диагностики повреждений спинного мозга является ультразвуковое исследование (УЗИ). Методика УЗИ спинного мозга применяется для интраоперационной диагностики опухолей спинного мозга новорожденных [2, 3, 5]. УЗИ возможно как при задней, так и передней декомпрессии спинного мозга (ламинэктомия, корпорэктомия), оно позволяет увидеть картину анатомических изменений спинного мозга в реальном времени на уровне костных повреждений.

Возможность получения достоверной информации о состоянии нервной системы при оперативных вмешательствах – мечта многих поколений нейрохирургов. В рамках мониторинга при нейрохирургических, кардиохирургических и ангиохирургических операциях все более широкое применение получает УЗИ головного мозга и мозгового кровообра-

щения [9]. Информации об использовании комплексного интраоперационного УЗИ при травме спинного мозга и применении микроваскулярных технологий для проведения интраоперационной ультразвуковой доплерографии спинальных артерий в литературе нами не встречено.

Цель исследования – анализ использования интраоперационного УЗИ и ультразвуковой доплерографии у пациентов с острой ПСМТ.

### Материал и методы

Интраоперационное УЗИ с цветовым доплеровским картированием (ЦДК), энергетическим доплеровским картированием (ЭДК) и ультразвуковым дуплексным сканированием выполнили у 10 оперированных больных с острой ПСМТ. Интраоперационную ультразвуковую доплерографию сосудов спинного мозга выполнили у 7 больных.

Интраоперационное УЗИ спинного мозга выполнено на ультразвуковом сканере «NDI 1500». Использовался интраоперационный ультразвуковой датчик 5–10 МГц с широкополос-



Рис. 1

Интраоперационные датчики:

а – 5–10 МГц, с широкополосной визуализацией и апертурой 35 мм;

б – 20 МГц, микрососудистый усовершенствованный ( $d = 1,5$  мм)

ной визуализацией и апертурой 35 мм (рис. 1а). Помимо серотональной визуализации в В-режиме применяли ЦДК, ЭДК и УДС. Стерилизация датчика осуществлялась в стандартных условиях. Перед использованием датчик помещали в стерильную апирогенную оболочку из латекса, которая предварительно заполнялась стерильным звукопроницаемым гелем. Для оптимальной визуализации в операционную рану вводили физиологический раствор. Датчик в операционной ране ориентировали в соответствии с общепринятыми правилами ультразвуковой визуализации. При получении продольных ультразвуковых срезов указатель (метку) на датчике ориентировали в краниальном направлении, при получении поперечных срезов – против движения часовой стрелки. Соответственно при дорсальной визуализации на ультразвуковых изображениях спинного мозга слева определяются краниальные и левые отделы, справа – каудальные и правые отделы. При выполнении интраоперационного УЗИ спинного мозга возможность манипулировать датчиком ограничена особенностями хирургического доступа при ламинэтомии и небольшими размерами ультразвукового окна в костных структурах. Визуализацию спинного мозга проводили через твердую спинно-мозговую оболочку.

В В-режиме идентифицировали следующие анатомические образования: твердую спинно-мозговую оболочку, субдуральное пространство и ликвор, спинной мозг, корешки спинного мозга, конского хвоста. На поперечных ультразвуковых срезах четко визуализируются наружные контуры и структура спинного мозга, центральный канал, передние и задние борозды. На продольных срезах также четко определяются контуры передней и задней поверхностей и структура спинного мозга. Структура спинного мозга изоэхогенная с мелкозернистыми эхопозитивными сигналами. Периферические отделы более эхогенные, чем центральные. В ряде случаев удается различить се-

рое и белое вещество спинного мозга. Ликвор на ультразвуковых изображениях эхонегативный и однородный. Твердая оболочка спинного мозга визуализируется как тонкая гиперэхогенная линейная структура. Корешки, спинно-мозговые нервы и конский хвост представлены линейными образованиями с ровными гиперэхогенными внешними контурами и гипозохогенной внутренней структурой. В протокол интраоперационного УЗИ включали морфометрические измерения: переднезадний и билатеральный размеры и площадь поперечного сечения спинного мозга на разных уровнях, диаметр центрального канала, расстояние от поверхности спинного мозга до твердой оболочки, площадь поперечного сечения спинно-мозговой жидкости на разных уровнях, отношение площадей поперечного сечения спинного мозга и ликвора. Точность измерений линейных размеров составляет 0,1 мм. В режиме ЦДК идентифицируются сосуды спинного мозга, артериальные и венозные потоки, определяются топография и анатомические особенности спинальной артерии и венозный кровоток. В режиме ЭДК

визуализируются мелкие низкоскоростные сосудистые потоки и сосудистые ветви. В режиме УДС регистрируются артериальные и венозные доплеровские спектры, оцениваются линейная и объемная скорости кровотока, резистивный индекс (РИ) Pourcelot и пульсационный индекс (ПИ) Gosling [8].

Интраоперационную ультразвуковую доплерографию сосудов спинного мозга выполняли на мониторинговой системе «Companion III» с применением 20,0 МГц микрососудистого датчика диаметром 1,5 мм (рис. 1б), который устанавливали в операционную рану непосредственно на сосудистую стенку или ориентировали направление ультразвукового луча в соответствии с представлениями хирурга об анатомическом расположении спинальной артерии и венозных сплетений. При локализации кровотока вслепую использовали пошаговое перемещение контрольного объема на необходимую глубину (величина шага - 0,1 мм). При интраоперационной ультразвуковой доплерографии регистрация доплеровских спектров возможна как в диагностическом, так и в мониторинговом ре-

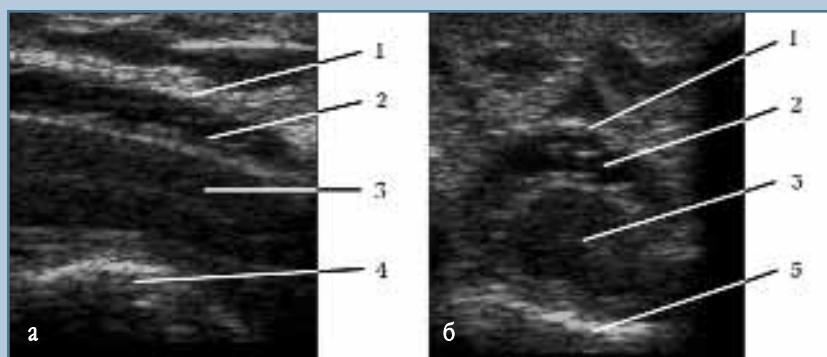


Рис. 2

Срезы спинного мозга при ультразвуковом исследовании:

а – продольный;

б – поперечный;

1 – твердая мозговая оболочка спинного мозга; 2 – субарахноидальное пространство; 3 – продольное сечение спинного мозга; 4 – компрессия спинного мозга оскольчатый переломом Th<sub>12</sub> позвонка; 5 – костные структуры Th<sub>12</sub> позвонка

жимах. Обычно оценивается форма доплеровского спектра, скоростные и резистивные показатели кровотока по спинальной артерии.

С помощью интраоперационной ультразвуковой доплерографии хирург оперативно получает информацию о состоянии кровоснабжения спинного мозга на уровне хирургического вмешательства. Ультразвуковым доплерографическим критерием нарушения спинно-мозгового кровообращения является регистрация следующих патологических паттернов: стенотического, затрудненного, коллатерального и избыточного. На декомпенсацию спинно-мозгового кровотока во время операции указывают критические сдвиги средней линейной скорости кровотока, PI Pourcelot и ПИ Gosling.

Статистическая обработка результатов исследования выполнялась с помощью программы «STATISTICA». При статистических вычислениях средних величин, среднеквадратичного отклонения, значений t-критерия Стьюдента и коэффициентов корреляции пользовались рекомендациями В.П. Боровикова [1].

### Результаты и их обсуждение

По результатам визуализации в В-режиме (рис. 2) установлено, что достоверно выявляются и коррелируют с данными КТ и МРТ следующие патологические изменения: компрессия спинного мозга, травматические повреждения, кисты различного генеза, расширение субарахноидального пространства и центрального канала, гематомы спинного мозга и наличие сгустков крови в ликворе. Ультразвуковым критерием компрессии спинного мозга являются локальное уменьшение поперечных размеров, ушиб ткани спинного мозга (визуализация гипоэхогенной зоны с гетерогенной структурой в спинно-мозговом веществе без четких контуров), кисты (эхонегативные образования с гомогенной жидкостной структурой и четкими ровными контурами), гематомы (гипоэхогенные образования

с гетерогенной структурой и неровными контурами), сгустки крови в ликворе (флотирующие при компрессии датчиком гиперэхогенные образования с неровными контурами).

В васкулярных режимах надежно выявляются и диагностируются следующие патологические нарушения: стенозирующие и окклюзирующие поражения спинальной артерии, гиперперфузия спинного мозга, затрудненная перфузия спинного мозга, редуцированный кровоток, венозные дисциркуляции в спинно-мозговом канале. ЦДК- и ЭДК-критериями стенотического и окклюзирующего поражения сосудов спинного мозга являются визуализация диффузно

или сегментарно суженных артериальных потоков, зоны наложения спектров, резко обедненная или полностью отсутствующая васкуляризация. УДС-критериями стенозирующего и окклюзирующего поражения спинальной артерии являются регистрация паттернов затрудненного, стенотического и коллатерального кровотоков, грубый аудиосигнал, отсутствие окна на доплеровском спектре и спектральное расширение более 50 %.

По результатам интраоперационной ультразвуковой доплерографии окклюзирующее поражение спинальной артерии выявлено у четырех больных, стенозирующее поражение

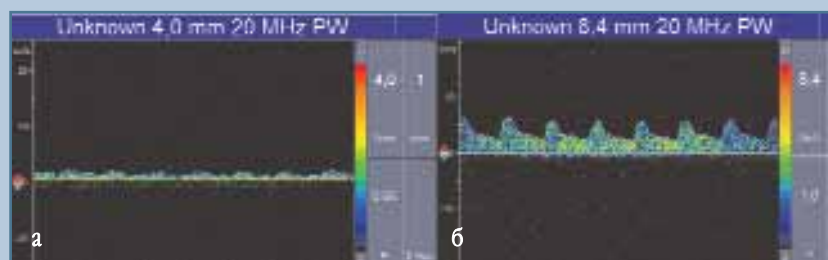


Рис. 3

Кровоток по спинальной артерии:

а – коллатеральный до декомпрессии;

б – нормальный после декомпрессии

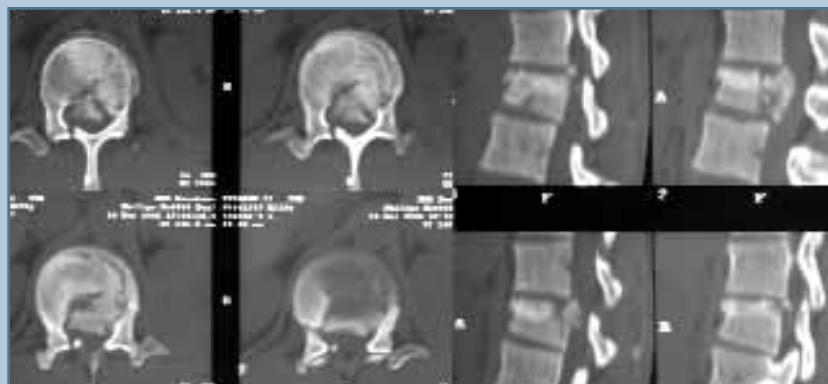


Рис. 4

КТ позвоночника пациента Ф., 25 лет, с компрессионно-оскольчатый переломом L<sub>1</sub> позвонка



– также у четырех, проходимость спинальных артерий сохранена у двух. На декомпенсацию спинномозгового кровообращения во время операции указывают развитие выраженной гипоперфузии (средняя линейная скорость кровотока снижается до 1–2 см/с) или выраженной гиперперфузии (средняя линейная скорость кровотока возрастает до 5–7 см/с), а также регистрация дискретного кровотока (ПИ Pourcelot – 0,95–1,00; ПИ Gosling – 4,5–5,0).

На этапах оперативного вмешательства наблюдалась следующая типичная динамика кровотока по спинальной артерии: резко сниженный коллатеральный или затрудненный кровоток до декомпрессии; гиперперфузия и избыточный кровоток после декомпрессии; компенсация кровотока и восстановление нормального доплеровского спектра. Интраоперационное восстановление спинального кровотока создает благоприятные условия для раннего восстановления функций спинного мозга (рис. 3).

По результатам УДС, объемные показатели спинального кровотока до декомпрессии составляли  $0,32 \pm 0,28$  мл/мин, после декомпрессии –  $3,74 \pm 3,09$  мл/мин (достоверность различий при  $p < 3 \times 10^{-12}$ ). Коллатеральный кровоток характеризовался как  $0,20 \pm 0,08$  мл/мин, дискретный –  $0,05 \pm 0,04$  мл/мин, избыточный –  $5,41 \pm 1,08$  мл/мин. При адекватном восстановлении спинального кровотока после декомпрессии объемная скорость кровотока составляла  $3,56 \pm 0,21$  мл/мин. Анализ корреляционной зависимости между интраоперационными сдвигами доплерографических показателей спинального кровообращения и клиническими проявлениями острой ПСМТ выявил сильную обратную связь для средней линейной скорости коллатерального кровотока и выраженности неврологического дефицита ( $r = -0,72$  при  $p < 0,05$ ), среднюю прямую связь для темпового прироста объемной скорости кровотока и среднюю обратную связь для ПИ Gosling после де-



Рис. 5

МРТ позвоночника и спинного мозга на уровне L<sub>1</sub> пациента Ф., 25 лет

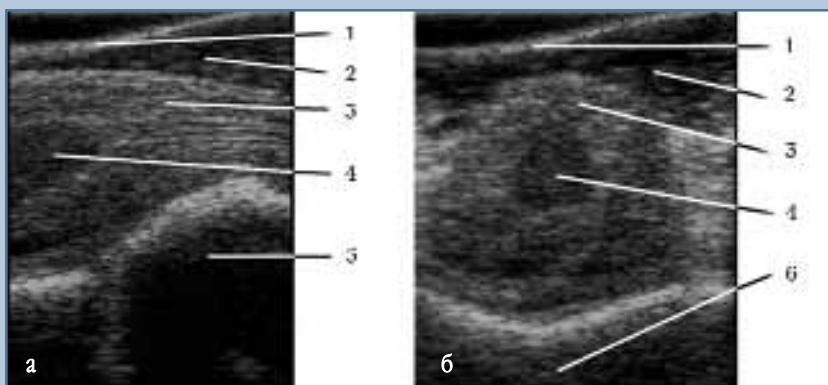


Рис. 6

Интраоперационное ультразвуковое исследование спинного мозга пациента Ф., 25 лет: отмечается передняя компрессия спинного мозга осколками тела L<sub>1</sub>, посттравматическая кистозная дегенерация спинного мозга выше компрессии (коррелирует с данными МРТ):

**а** – продольное изображение спинного мозга;

**б** – поперечное изображение спинного мозга

**1** – твердая мозговая оболочка спинного мозга; **2** – субарахноидальное пространство; **3** – продольное сечение спинного мозга; **4** – посттравматическая кистозная дегенерация спинного мозга; **5** – компрессия спинного мозга осколками тела L<sub>1</sub> позвонка; **6** – костные структуры L<sub>1</sub> позвонка;

компрессии и регресса неврологической симптоматики в послеоперационном периоде (соответственно  $p = +0,52$  и  $p = -0,46$  при  $p < 0,05$ ).

**Клинический пример.** Пациент Ф., 25 лет, поступил в нейрохирургический центр через 20 дней после ДТП с острой ПСМТ при компрессионно-оскольчатом переломе  $L_1$  позвонка с ушибом спинного мозга, посттравматической кистозной дегенерацией спинного мозга, нижним парапарезом, дисфункцией тазовых органов (рис. 4–6). Проведена декомпрессионная ламинэктомия  $L_1$  с интраоперационным УЗИ и ультразвуковой доплерографией спинного мозга, пункцией интрамедуллярной кисты под УЗИ-контролем; из заднего доступа устранена передняя компрессия спинного мозга путем резекции компримирующих фрагментов, проведена циркулярная декомпрессия спинного мозга и фиксация позвоночника транспедикулярной конструкцией, через две недели проведена чрескожная пункционная вертебропластика  $L_1$  позвонка костным цементом (рис. 7, 8). Вертикализирован в корсете на пять суток. Переведен на долечивание в реабилитационный центр.

### Заключение

Результаты комплексной интраоперационной ультразвуковой диагностики свидетельствуют о возможности широкого применения данной интраоперационной методики при острой ПСМТ. Результаты интраоперационного УЗИ и интраоперационной ультразвуковой доплерографии указывают на высокую эффективность данных методов в оценке локальных структурных изменений и гемодинамических нарушений в области травматического повреждения спинного мозга. Методика проста в применении, высокоинформативна, практически не увеличивает время проведения операции, сопоставима с данными МРТ.

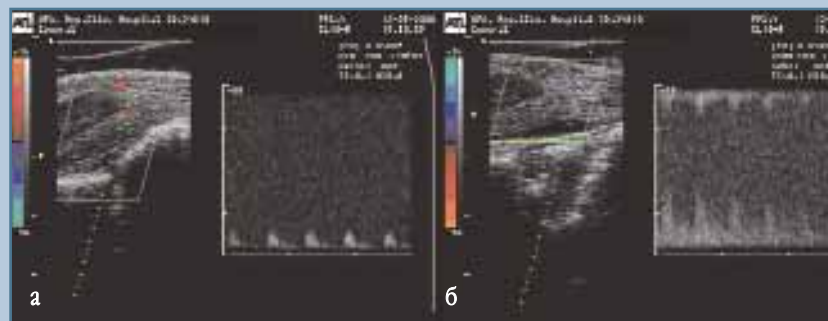


Рис. 7

Интраоперационная ультразвуковая картина и спинно-мозговой кровоток пациента Ф., 25 лет:

- а – до декомпрессии спинного мозга;
- б – после декомпрессии спинного мозга

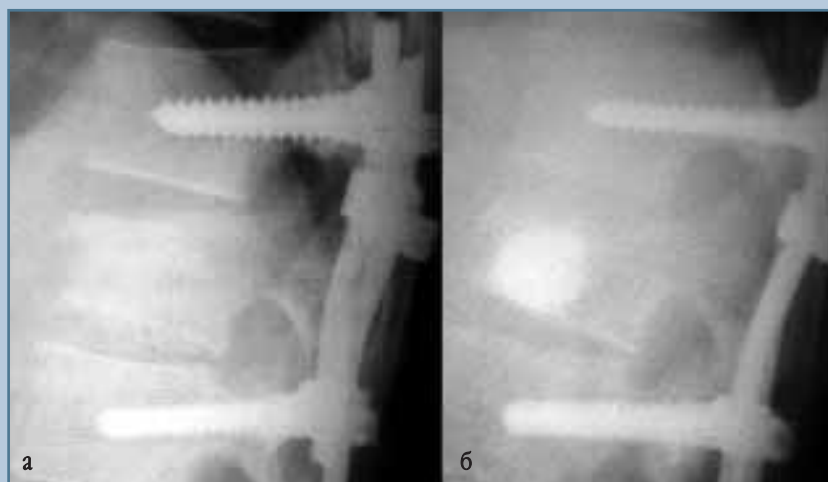


Рис. 8

Этапы хирургического вмешательства у пациента Ф., 25 лет:

- а – фиксация позвоночника транспедикулярной конструкцией;
- б – перкутанная пункционная вертебропластика  $L_1$  позвонка

## Литература

1. **Боровиков В.П.** Популярное введение в программу STATISTICA. М., 1998.
2. **Ватолин К.В., Биджиев М.И., Пыков М.И. и др.** Методика исследования, ультразвуковая семиотика и данные морфометрии спинного мозга и позвоночного канала у новорожденных // Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2003. № 1. С. 51–57.
3. **Григорьева Е.В., Ахмеджанов Ф.М.** Спинальное УЗИ в педиатрии: роль метода в диагностике пороков развития спинного мозга и послеоперационных состояний // Радиология: практика. 2006. № 3. С. 7–13.
4. **Гринь А., Чигибасов М., Крылов В.** Некоторые показатели состояния нейрохирургической помощи больным со спинальной травмой в Москве (по данным нейрохирургических стационаров департамента здравоохранения в 1997–2004 гг. // 4-й съезд нейрохирургов России: Тез. докл. М., 2006. С. 30–31.
5. **Зубарев А.Р., Древалев О.Н., Ким Ю.Е. и др.** Интраоперационная ультразвуковая диагностика опухолей головного и спинного мозга. Практика применения интраоперационной трехмерной реконструкции // Медицинская визуализация. 2005. № 2. С. 28–33.
6. **Кондаков Е.Н., Симонова И.А., Поляков И.В.** Эпидемиология травмы позвоночника и спинного мозга в Санкт-Петербурге // Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. 2002. № 2. С. 50–53.
7. **Курамшин А.Ф., Сафин Ш.М., Валишин Р.А. и др.** Оказание экстренной нейрохирургической помощи больным с позвоночно-спинномозговой травмой // 4-й съезд нейрохирургов России: Тез. докл. М., 2006. С. 63.
8. **Шахнович А.Р., Шахнович В.А.** Диагностика нарушений мозгового кровообращения. Транскраниальная доплерография. М., 1996.
9. **Щекучев Г.А.** Нейромониторинг: общие принципы и применяемые методы // Нейрофизиологические исследования в клинике / Под ред. Г.А. Щекучева. М., 2001. С. 216–230.
10. **Dahl A., Russell D., Lindegaard K-F, et al.** Vasoreactivity measured with TCD and SPECT // Pan European Society of Neurology, Second Congress in the Decade of the Brain. Hofburg; Vienna, 1991. P. 73.

## Адрес для переписки:

Курамшин Альмир Фаватович  
450005, Уфа, ул. Достоевского, 132,  
клиническая больница им. Г.Г. Куватова,  
alfakur2002@mail.ru

Статья поступила в редакцию 20.03.2007