



АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТРАОПЕРАЦИОННОГО КОНУСНО- ЛУЧЕВОГО КОМПЬЮТЕРНОГО ТОМОГРАФА «O-ARM» И СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ В ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПОЗВОНОЧНИКА И СПИННОГО МОЗГА

Н.А. Коновалов, А.Г. Назаренко, Д.С. Асютин, В.М. Старченко, М.А. Мартынова

Научно-исследовательский институт нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко РАМН, Москва

Проведена оценка эффективности применения конусно-лучевого интраоперационного компьютерного томографа «O-arm» и навигационной системы в хирургическом лечении заболеваний позвоночника и спинного мозга. У 106 пациентов при хирургических вмешательствах применяли «O-arm» и систему навигации. Пациентам с опухолями позвоночника и спинного мозга компьютерную томографию выполняли при локализации опухоли в анатомически труднодоступной области для контроля радикальности удаления костных опухолей, опухолей спинного мозга с оссификацией и для позиционирования иглы при вертебропластике. При проведении стабилизирующего этапа операций «O-arm» и систему навигации применяли для контроля точности установки имплантатов и контроля зон декомпрессии.

Применение «O-arm» с системой навигации особенно актуально в тех случаях, когда хирургическое лечение проводится в сложных анатомических условиях и использование двухмерных снимков не обеспечивает визуализации зоны операции. «O-arm» с системой навигации обеспечивает высокое качество лечения и является безопасным для пациента.

Ключевые слова: интраоперационный компьютерный томограф «O-arm», система навигации.

Для цитирования: Коновалов Н.А., Назаренко А.Г., Асютин Д.С., Старченко В.М., Мартынова М.А. Анализ эффективности применения интраоперационного конусно-лучевого компьютерного томографа «O-arm» и современной системы навигации в хирургическом лечении заболеваний позвоночника и спинного мозга // Хирургия позвоночника. 2014. № 3. С. 54–59.

EFFICACY OF INTRAOPERATIVE CONE-BEAM O-ARM COMPUTED TOMOGRAPHY AND MODERN NAVIGATION SYSTEM IN THE SPINE AND SPINAL CORD SURGERY

N.A. Konovalov, A.G. Nazarenko, D.S. Asyutin, V.M. Starchenko, M.A. Martynova

To assess the efficacy of using intraoperative cone-beam O-arm computed tomography and navigation system in surgical treatment of the spine and spinal cord disorders. A total of 106 patients with degenerative spine diseases and spine and spinal cord tumors underwent surgery with O-arm iCT and navigation system from August 2013 to March 2014. The iCT system was used for tumors localized in anatomically hard-to-reach areas to control radicality of removal of bone tumors and those of the spinal cord with ossification, and for needle guidance in vertebroplasty. During stabilization stage the O-arm iCT and navigation system were used to control the accuracy of implant placement and to monitor decompression zones. The O-arm iCT with navigation system is particularly useful when surgery is performed in difficult anatomical conditions, and the use of two-dimensional images does not provide visualization of the surgical zone. Duration of the first surgeries using iCT and navigation system was longer, but within the first month there was a trend towards its shortening.

Conclusions. Application of the O-arm iCT with navigation system in surgical treatment of spinal disorders provides high quality treatment, is safe for a patient, and allows for surgical intervention in difficult anatomical conditions.

Key Words: intraoperative O-arm computed tomography, navigation system, spine and spinal cord disorders.

Hir. Pozvonoc. 2014; (3):54–59.

Заболевания позвоночника представляют собой значимую проблему в структуре нейрохирургической патологии. Сегодня невозможно представить проведение операции в спинальной нейрохирургии без использования систем интраоперационной визуализации. Арсенал имеющихся нейровизуализационных и навигационных систем достаточно велик. Наибольшее распространение в повседневной практике получил электронно-оптический преобразователь (ЭОП), который позволяет получать двухмерные изображения. Большое количество вариантов хирургического лечения заболеваний позвоночника сопряжено с необходимостью установки имплантатов. Правильность их положения должна обязательно контролироваться

интраоперационно. Применение ЭОП не позволяет получать аксиальные снимки и является источником лучевой нагрузки на пациента и врача, что в совокупности является недостатком системы. Правильность установки имплантатов минимизирует риски интраоперационных осложнений и улучшает качество хирургического лечения.

Развитие технологий визуализации позволяет проводить компьютерную томографию непосредственно в операционной. Специально для этого разработан конусно-лучевой интраоперационный компьютерный томограф «O-arm», который объединяет в себе функции КТ и электронно-оптического преобразователя. Для повышения безопасности пациента установка «O-arm» может использоваться вместе

с навигационной системой или роботом-ассистентом. Наличие такого оборудования в структуре одной операционной позволяет проводить исследования, направленные на изучение его эффективности и особенностей интраоперационной КТ-визуализации.

Цель исследования – оценка эффективности применения конусно-лучевого интраоперационного компьютерного томографа «O-arm» и навигационной системы в хирургическом лечении заболеваний позвоночника.

С августа 2013 г. в НИИ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко РАМН для интраоперационной визуализации применяется конусно-лучевой интраоперационный компьютерный томограф «O-arm». Система «O-arm» может использоваться как изолированно, так

Таблица 1

Распределение пациентов по видам хирургических вмешательств

Вид операции	Количество операций, n
Декомпрессия и стабилизация одного и более сегментов шейного отдела позвоночника	21
Декомпрессия и стабилизация одного и более сегментов пояснично-крестцового отдела позвоночника	60
Перкутанная стабилизация одного и более сегментов пояснично-крестцового отдела позвоночника	6
Удаление опухолей позвоночника и спинного мозга с интраоперационным КТ-контролем	2
Вертебропластика	13
Транскутанная биопсия опухолей позвоночника и спинного мозга	4



Рис. 1

Интраоперационный компьютерный томограф «O-arm» и система навигации: а – платформа интраоперационной визуализации с подвижным сканирующим модулем (гентри); б – монитор; в – беспроводная мышь для дистанционного управления; г – навигационная станция с камерой; д – монитор для отображения навигации

и в сочетании с навигационной системой. С августа 2013 г. по март 2014 г. в отделении спинальной нейрохирургии выполнено 106 хирургических вмешательств пациентам с дегенеративными заболеваниями позвоночника и опухолями позвоночника и спинного мозга с использованием интраоперационного «O-arm» и системы навигации. Распределение пациентов по видам хирургических вмешательств представлено в табл. 1.

Система навигации и «O-arm» состоит из пяти компонентов (рис. 1): платформы интраоперационной визуализации с подвижным сканирующим модулем (гентри), монитора, беспроводной мыши для дистанционного управления, навигационной станции с камерой и монитора для отображения навигации.

Существуют определенные требования к операционной для установки «O-arm» (табл. 2). Важным условием для работы с установкой «O-arm» является наличие рентгенопрозрачного операционного стола. В нашем случае было проведено дооснащение операционного стола приставками из фиброкарбонового волокна.

Для освоения алгоритма применения «O-arm» и системы навигации в течение первого месяца все хирургические вмешательства на позвоночнике и спинном мозге выполняли в присутствии специалиста компании-производителя.

На рис. 2 представлен алгоритм применения «O-arm» и системы навигации. В операционной перед хирургическим вмешательством в условиях эндотрахеального наркоза с помощью «O-arm» проводится интраоперационное КТ-исследование в режимах 2D- и/или 3D-сканирования для точности определения зоны хирургического вмешательства. После завершения хирургического доступа устанавливается навигационная рамка и с помощью «O-arm», помещенного в стерильный чехол, выполняется КТ-исследование в режимах 2D- и 3D-сканирования. Далее данные КТ-изображений передаются на навигационную станцию, осуществляется основной этап операции.

Важно отметить, что основной этап выполняется с использованием специальных навигацион-

Таблица 2

Требования к операционной для установки системы «O-arm»

Показатель операционной	Необходимое значение
Площадь операционной, м ²	Не менее 35
Нагрузка на перекрытия, кг/м ²	Не менее 440
Высота дверного проема, см	Не менее 195
Ширина дверного проема, см	Не менее 90



Рис. 2

Алгоритм применения «O-arm» и системы навигации



Рис. 3

Алгоритм применения «O-arm» и системы навигации при выполнении транскутанных вмешательств

ных инструментов. Дополнительное сканирование на этом этапе не производится. После завершения основного этапа операции выполняется контрольное КТ-исследование с 3D-реконструкцией.

При выполнении транскутанных вмешательств алгоритм применения «O-arm» и системы навигации несколько отличается (рис. 3). В операционной перед хирургическим вмешательством производится установка навигационной рамки в область хирургического доступа. Следует отметить, что при транскутанных вмешательствах фиксация навигационной рамки осуществлялась с помощью самоклеющейся стерильной пленки (рис. 4).

Следующий этап – КТ-исследование в режимах 2D и 3D-сканирования. Данные КТ-изображений передаются на навигационную станцию, под местной анестезией осуществляется перкутанное хирургическое вмешательство с применением навигационных инструментов, без дополнительного сканирования. После завершения операции выполняется контрольное КТ-исследование с 3D-реконструкцией.

В качестве клинического примера опишем выполнение вертебропластики с применением «O-arm» у пациента С., с гемангиомой Th₁ позвонка (рис. 5).

После выполнения интраоперационного КТ-исследования в режиме 2D становится очевидной неинформативность использования в данном случае стандартного флюороскопа из-за невозможности визуализации зоны операции (рис. 6).

Произведена вертебропластика Th₁ позвонка из переднего шейного доступа (рис. 7).

Приведем случай установки 4-винтовой системы и межтелового имплантата с применением интраоперационного «O-arm» и системы навигации у пациентки А., с дегенеративным стенозом позвоночного канала на уровне L₄-L₅ позвонков и нестабильностью сегмента L₄-L₅ (рис. 8). Произведены декомпрессия на уровне L₄-L₅, межтеловая стабилизация, транспедикулярная стабилизация указанного сегмента с применением навигационной системы (рис. 9, 10).

Проведен анализ эффективности использования интраоперационного «O-arm» с системой навигации в хирургическом лечении заболеваний позвоночника и спинного мозга. В ходе работы осуществлялся мониторинг длительности операций. Первые хирургические вмешательства с использованием «O-arm» и навигационной системы были продолжительнее, что связано с освоением управления и отработкой алгоритма использования системы. Однако в процессе обучения в течение первого месяца была отмечена тенденция к уменьшению длительности операции.

Пациентам с опухолями позвоночника и спинного мозга интраоперационное КТ-исследование в режиме 2D выполняли непосредственно перед операцией для разметки операционного поля. В ряде случаев при локализации опухоли в анатомически труднодоступной области, не визуализируемой на двухмерных снимках, осуществляли 3D-сканирование, что улучшало точность при оперативном доступе. При наличии костных опухолей и опухолей спинного мозга с оссификацией интраоперационное КТ-исследование выполняли для контроля радикальности удаления.



Рис. 4

Этап фиксации навигационной рамки с помощью самоклеющейся стерильной пленки

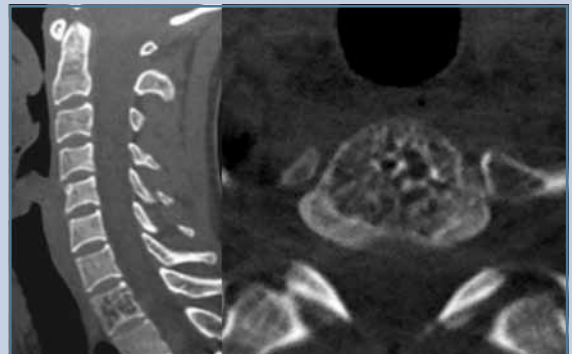


Рис. 5

КТ шейного и верхнегрудного отделов позвоночника пациента С. в сагитальной и аксиальной проекциях

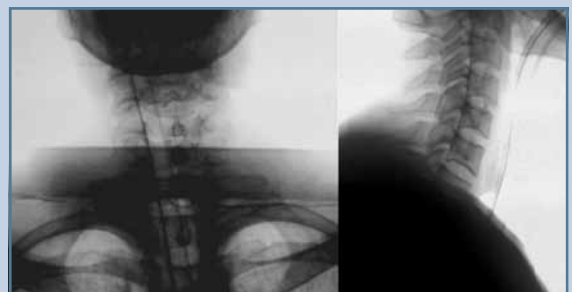
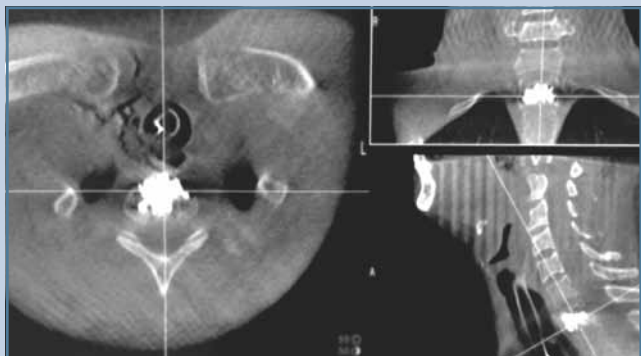
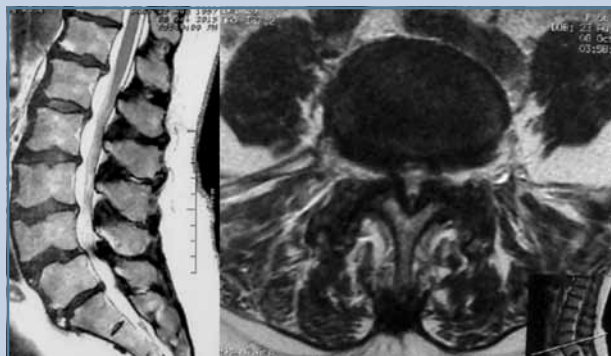


Рис. 6

Интраоперационное КТ пациента С. в режиме 2D в прямой и боковой проекциях

**Рис. 7**

Интраоперационная КТ шейно-грудного отдела позвоночника пациента С. в режиме 3D-сканирования после выполнения вертебропластики

**Рис. 8**

МРТ пояснично-крестцового отдела позвоночника пациентки А. в сагитальной и аксиальной проекциях

**Рис. 9**

Интраоперационный поэтапный контроль установки межтелового импланта (а) и транспедикулярных винтов (б) пациентке А. на уровне L₄-L₅ позвонков с применением системы навигации

**Рис. 10**

Интраоперационный КТ-контроль пояснично-крестцового отдела позвоночника пациентки А. после установки межтелового импланта и транспедикулярных винтов на уровне L₄-L₅ позвонков в режиме 3D-сканирования (а) и в режиме 3D-реконструкции (б)

При проведении стабилизирующего этапа операции, требующего установки межтеловых имплантов и транспедикулярных вин-

тов, в том числе при перкутанных методиках, «O-arm» и систему навигации применяли для определения зоны вмешательства, интра-

перационного контроля точности установки имплантов и контроля зон декомпрессии. После опера-

ции выполняли 3D-сканирование и 3D-реконструкцию.

На наш взгляд, применение интраоперационного КТ «O-arm» с системой навигации особенно актуально в тех случаях, когда хирургическое лечение проводится в сложных анатомических условиях (тонкий корень дуги позвонка, сколиотическая или посттравматическая деформация позвоночника), а двухмерные снимки не обеспечивают визуализации зоны операции.

Кроме того, применение интраоперационного «O-arm» и системы нави-

гации полезно для нейрохирургов в клиниках, где стандартные стабилизирующие операции и перкутанные методики редки или их только начинают осваивать.

Выводы

1. Применение интраоперационного компьютерного томографа «O-arm» с системой навигации в хирургическом лечении заболеваний позвоночника и спинного мозга обе-

спечивает высокое качество лечения и является безопасным для пациента.

2. Применение интраоперационного компьютерного томографа «O-arm» позволяет проводить хирургические вмешательства в сложных анатомических условиях.

3. Использование «O-arm» с современной системой навигации снижает величину лучевой нагрузки как на пациента, так и на оперирующую бригаду.

Литература

1. **Acosta FL Jr, Thompson TL, Campbell S, et al.** Use of intraoperative isocentric C-arm 3D fluoroscopy for sextant percutaneous pedicle screw placement: case report and review of the literature. *Spine J.* 2005; 5:339–343.
2. **Gebhard F, Weidner A, Liener UC, et al.** Navigation at the spine. *Injury.* 2004;35 Suppl 1:S-A35–A45.
3. **Ul Haque M, Shufflebarger HL, O'Brien M, et al.** Radiation exposure during pedicle screw placement in adolescent idiopathic scoliosis: is fluoroscopy safe? *Spine.* 2006;31:2516–2520.
4. **Metz LN, Burch S.** Computer-assisted surgical planning and image-guided surgical navigation in refractory adult scoliosis surgery: case report and review of the literature. *Spine.* 2008;33:E287–E292. doi: 10.1097/BRS.0b013e31816d256e.
5. **Resnick DK.** Prospective comparison of virtual fluoroscopy to fluoroscopy and plain radiographs for placement of lumbar pedicle screws. *J Spinal Disord Tech.* 2003;16:254–260.
6. **Sakai Y, Matsuyama Y, Yoshihara H, et al.** Simultaneous registration with ct-fluoro matching for spinal navigation surgery. A case report. *Nagoya J Med Sci.* 2006;68:45–52.
7. **Smith HE, Welsch MD, Sasso RC, et al.** Comparison of radiation exposure in lumbar pedicle screw placement with fluoroscopy vs computer-assisted image guidance with intraoperative three-dimensional imaging. *J Spinal Cord Med.* 2008;31:532–537.

Адрес для переписки:

Мартынова Мария Андреевна
125047, Москва,
ул. 4-я Тверская-Ямская, 16, каб. 920,
НИИ нейрохирургии
им. акад. Н.Н. Бурденко,
martynova_mariya@mail.ru

Статья поступила в редакцию 24.03.2014

Николай Александрович Коновалов, д-р мед. наук; Антон Герасимович Назаренко, д-р мед. наук; Дмитрий Сергеевич Асютин, мл. науч. сотрудник; Василий Михайлович Старченко, инженер; Мария Андреевна Мартынова, аспирант, НИИ нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко РАМН, Москва.

Nikolay Aleksandrovich Kononov, MD, DMSc; Anton Gerasimovich Nazarenko, MD, DMSc; Dmitry Sergeyevich Asyutin, junior researcher; Vasily Mikhailovich Starchenko, engineer; Maria Andreyevna Martynova, fellow, N.N. Burdenko Neurosurgical Institute, Moscow.