

7. Аполихин О.И., Чернышев И.В., Павлов Д.А. и др. Тенденции развития эндовидеохирургии локализованного рака почки: материалы XIV конгресса РОУ. Саратов. 2014. С. 247-248.

*Apolihin O.I., Chernyshev I.V., Pavlov D.A. i dr. Tendencii razvitiia jendovideohirurgii lokalizovannogo raka pochki: materialy XIV kongressa ROU. Saratov. 2014. S. 247-248.*

8. Clavien P.A., Barkun J., de Oliveira M.L. et al. The Clavien-Dindo classification of surgical complications: Five-year experience. *Ann Surg.* 2009. № 250. P. 187-1916.

9. Patel A.R. et al. Warm ischemia less than 30 minutes is not necessarily safe during partial nephrectomy: every minute matters. *Urol Oncol.* 2011. Vol. 29 (6). P. 826-828.

10. Gill I.S. et al. Zero ischemia anatomical partial nephrectomy: a novel approach. *J Urol.* 2012. Vol. 187 (3). P. 807-814.

11. Попков В.М., Потапов Д.Ю., Понукалин А.Н. и др. Методы окончательной остановки кровотечения из паренхимы почки. Актуальные проблемы фундаментальной и клинической уронефрологии. 2013. ID: 2013-04-1276-R-2713.

*Popkov V.M., Potapov D.Ju., Ponusukalin A.N. et al. Metody okonchatel'noj ostanovki krovotечения iz parenhimy pochki. Aktual'nye problemy*

*fundamental'noj i klinicheskoy uronefrologii. 2013. ID: 2013-04-1276-R-2713.*

12. Матвеев В.Б., Комаров И.Г., Волкова М.И. и др. Безопасность и целесообразность использования трансперитонеального лапароскопического доступа для выполнения радикальной нефрэктомии при клинически локализованном раке почки. *Онкоурология.* 2013. С. 14-21.

*Matveev V.B., Komarov I.G., Volkova M.I. Bezopasnost' i celesoobraznost' ispol'zovaniia transperitoneal'nogo laparoskopicheskogo dostupa dlja vypolnenija radikal'noj nefrjektomii pri klinicheski lokalizovannom rake pochki. Onkourologija. 2013. S. 14-21.*

13. Алексеев Б.Я., Калпинский А.С., Ньюшко К.М. и др. Анализ непосредственных результатов органосохраняющего лечения у больных раком почки: сравнение лапароскопической резекции почки с резекцией почки открытым способом // Материалы VII конгресса РООУ. М., 2012. С. 132-133.

*Alekseev B.Ja., Kalpinskiy A.S., Njushko K.M. i dr. Analiz neposredstvennyh rezul'tatov organo-sohranjajushhego lechenija u bol'nyh rakom pochki: sravnenie laparoskopicheskoy rezekcii pochki s rezekciej pochki otkryтым sposobom // Materialy VII kongressa ROOU. M., 2012. S. 132-133.*

УДК 616.61-089.81/87:004.94

## ПЕРВЫЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ НА ОСНОВЕ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИНТРАОПЕРАЦИОННОЙ НАВИГАЦИИ ПРИ ЛАПАРОСКОПИЧЕСКОЙ РЕЗЕКЦИИ ПОЧКИ

В.Н. Дубровин<sup>1</sup>, А.В. Егошин<sup>1</sup>, Я.А. Фурман<sup>2</sup>, А.А. Роженцов<sup>2</sup>, Р.И. Ерусланов<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>ГБУ Республики Марий Эл «Республиканская клиническая больница», г. Йошкар-Ола,

<sup>2</sup>Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола

**Дубровин Василий Николаевич** – e-mail: vndubrovin@mail.ru

Современные компьютерные технологии позволяют создавать 3D-модель органа и использовать ее для предоперационного планирования, перспективно применять виртуальную модель для интраоперационной навигации. Разработана оригинальная компьютерная программа для создания 3D-модели интересующего органа на основе компьютерной томографии. Виртуальная модель совмещалась с пациентом при помощи 3D-дигитайзера по технологии дополненной реальности. Метод применен в лечении 7 пациентов среднего возраста 47,5 (38–54) года, 3 мужчин (42,9%) и 4 женщины (57,1%), имеющих опухоли почки в среднем 3,0 (2,0–4,0) см. Время тепловой ишемии составило 14,5 (12–18) минуты. Среднее время операции – 110,5 (80–155) минуты. Осложнений в послеоперационном периоде не наблюдали. Метод перспективен для начинающих хирургов и для развития малоинвазивной хирургии.

**Ключевые слова:** компьютерное моделирование, дополненная реальность, лапароскопическая резекция почки.

Modern computer technologies allow to create 3D models of the body and use them to virtual planning. We present the method of intraoperative navigation based on virtual simulation during videoendoscopic partial nephrectomy for kidney's tumors. Special computer program has been developed, that created three-dimensional image of operative space on the basis of preoperational tomographic data of a concrete patient. The complex allowing to form virtual 3D model of a patient according to the results of tomography examination. The original method of matching the system of coordinates of a virtual model with the patient was offered by augmented reality technology. The method was originally performed for the 7 patients, their average age was 47,5 (38–54) years, men – 3 (42,9%), women – 4 (57,1%) with size of the tumors 3,0 (2,0–4,0) cm. Average time of an operation performed with the use of the computerized choice of the surgical approach was 110,5 (80–155) minutes. Warm ischemia time was 14,5 (12–18 min). There were no complications during the operation and in the post-operative period. This method is particularly perspective for teaching beginner surgeons, it can help them acquire skills in minimally invasive surgery.

**Key words:** Virtual simulation, augmented reality, laparoscopic partial nephrectomy.

### Введение

Современные цифровые технологии улучшают возможности лучевых методов диагностики заболеваний почек. Создание объемной модели почки путем совмещения изображений, полученных в разные фазы контрастной мультиспиральной компьютерной томографии, позволяет сочетать в одном изображении артериальную, паренхиматозную, венозную и экскреторные фазы исследования, что дает хирургу более детальную информацию об анатомии и патологии органа [1]. При хирургическом лечении опухолевых заболеваний почки преимущество имеют органосохраняющие методики, применение которых возможно при различных вариантах сегментарных резекций, основанных на точном знании индивидуальной анатомии органа, особенностей кровоснабжения, локализации и границ патологического процесса [2, 3].

Большое значение в успехе оперативного лечения имеет предоперационное планирование операции, возможное при использовании виртуальной модели почки, на которой при помощи компьютера можно провести удаление патологического объекта, изучить возможные повреждения кровеносных сосудов, полостной системы почки, изучить зоны, при повреждении которых возможны осложнения [4].

Перспективным направлением использования современных методов 3D-моделирования в урологии является интраоперационная навигация на основе предоперационного обследования [5]. В последнее время активно разрабатывается метод дополненной реальности, когда используется виртуальное изображение зоны операционного пространства или выделенного органа, которое сопоставляется с его реальным прототипом в статическом режиме или в реальном времени при помощи компьютерных устройств [6]. Имеются разные технические варианты согласования систем координат модели и реального объекта в статическом и динамическом изображении, которые позволяют использовать технологию при проведении видеондоскопических операций на почке [7, 8].

Однако нерешенными проблемами применения метода компьютерного моделирования и использования 3D-модели для интраоперационной навигации остаются: отсутствие универсального метода формирования виртуальной модели, применимого ко всем аппаратам медицинской визуализации (компьютерная томография, магнитно-резонансная томография, ультразвуковое сканирование), в большинстве случаев отсутствие связи систем координат диагностического изображения и реального пациента. Вместе с тем, необходимость широкого внедрения виртуального планирования операции, прогнозирования зон хирургического риска с учетом индивидуальной анатомии очевидна.

**Целью данного исследования** является разработка метода интраоперационной навигации на основе предоперационного 3D-моделирования зоны хирургического интереса путем совмещения компьютерной модели и изображения реального органа во время видеондоскопической операции.

### Материал и методы

Разработана компьютерная программа для обработки изображения полученного на любом аппарате КТ в форма-

те DICOM и формирования 3D-модели интересующей хирурга зоны операции или выделенного органа (патенты Российской Федерации № 2011611778 от 12.01.2011 г. и № 2012135049 от 2012 г.). Перед проведением компьютерной томографии на теле пациента устанавливали реперные точки (не менее 4), отмеченные металлическими метками в строго определенных местах для последующего сопоставления систем координат. Полученные при обследовании компьютерные томограммы для последующей обработки передавались в персональный компьютер, оснащенный оригинальной компьютерной программой, при помощи которой создавали объемную модель почки, сосудов почечной ножки и внутривисцеральных сосудов с возможностью изменять прозрачность паренхимы почки, изучать внутренние границы опухоли почки. На полученной модели имелась возможность производить виртуальное удаление опухоли почки с оценкой края резекции, вовлечения в него полостной системы почки или сосудов паренхимы. После формирования 3-мерной модели интересующей зоны предстоящего хирургического вмешательства, определения реперных точек в виртуальном пространстве изображения производили сопоставление систем координат модели и реального пациента при помощи механического 3D-дигитайзера – прибора, позволяющего формировать объемные компьютерные изображения. Точками сопоставления систем координат являлись реперные точки на теле пациента, указанные при компьютерной томографии.

Видеондоскопическую операцию проводили по общепринятой методике, после осуществления доступа, обзорной лапароскопии, производили мобилизацию почки, выделяли сосуды почечной ножки, почку освобождали от жировой клетчатки. Далее в статическом режиме на отдельном мониторе персонального компьютера производили совмещение изображений модели, полученных на основании предоперационной компьютерной томографии и видеондоскопического изображения, полученного в ходе лапароскопической операции. Совмещение изображения позволяло визуализировать опухоль почки, ее предполагаемые внутренние границы, соотношение артериальных сосудов с зоной планируемой резекции почки.

Оперированы 7 пациентов среднего возраста 47,5 (38–54) года, 3 мужчин (42,9%), 4 женщины (57,1%), имеющих опухоли почки небольшого размера – в среднем 3,0 (2,0–4,0) см. Локализация опухоли – во всех случаях нижний полюс почки, опухоль обнаружена в левой почке – в 5 (71,4%) и в правой почке в 2 (28,6%) случаях.

### Результаты и их обсуждение

Полученная объемная модель органа перед операцией позволила провести планирование предстоящей резекции почки перед операцией, четко была определена локализация опухоли, ее связь с артериями паренхимы почки, полостной системой почки. При виртуальном удалении опухоли можно было наблюдать возможные повреждения внутренних структур почки, определить их локализацию и спрогнозировать методы устранения возможных осложнений.

При проведении реальной лапароскопической операции после выделения сосудов сосудистой ножки почки при наложении сосудистого зажима выбралась

сегментарная артерия при ее делении в зоне ворот почки, что оказалось возможным в 4 (57,1%) случаях, при проведении остальных 3 (42,9%) операций зажим накладывался на почечную артерию. Резекцию почки проводили холодными ножницами. После удаления части почки с опухолью на почечную паренхиму накладывали обвивной гемостатический шов на пластиковых клипсах. Время тепловой ишемии составило 14,5 (12–18) минуты. Среднее время операции составило 110,5 (80–155) минуты. В послеоперационном периоде проводилась ранняя активизация пациента. Осложнений в послеоперационном периоде не наблюдали. Средняя продолжительность лечения составила 6,7 (6–10) дня. Не было случаев положительного хирургического края при послеоперационном гистологическом исследовании.

Применение метода совмещения компьютерного изображения, полученного при компьютерной томографии, и изображения на экране монитора при выполнении видеоэндоскопической операции позволило хирургу точнее представить анатомию оперируемого органа, его ангиоархитектонику, расположение опухоли почки, ее связь с кровеносными сосудами, что позволило провести резекцию почки радикально в пределах здоровых тканей. Возможность точно определить сегментарную артерию дает значительное преимущество в плане сохранения почечной функции после операции, поскольку тепловой ишемии подвергается не вся паренхима почки, а только сегмент, пораженный опухолем процессом и подлежащий удалению.

#### Выводы

**1.** Формирование виртуальной модели почки на основе предоперационного обследования дает важную информацию о пространственной структуре органа, локализации патологического процесса. Предоперационное виртуальное планирование позволяет прогнозировать особенности операции, ее трудные и опасные этапы, предвидеть возможные осложнения.

**2.** Выбор сегментарного сосуда для его временного пережатия с помощью виртуальной 3-мерной модели позволяет сократить зону тепловой ишемии и предотвратить послеоперационные осложнения.

**3.** Совмещение компьютерной модели и изображения реального органа методом дополненной реальности во время видеоэндоскопической операции является перспективным методом, требующим дальнейшей разработки и усовершенствования. Применение метода с использованием динамических картин даст большие преимущества во время операции.



#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аляев Ю.Г., Ахведиани Н.Д., Фиев Д.Н., Петровский Н.В. Возможности методов визуализации в диагностике и мониторинге опухоли почки. Экспериментальная и клиническая урология. 2011. № 2. С. 96–98.  
*Alaev U.G., Ahvlediani N.D., Phiev D.N., Petrovskii N.V. Vosmognosti metodov visualisatscii v diagnostike i monitoringe opuholi pochki. Experimentalnaia i klinicheskaia urologia. 2011. № 2. С. 96–98.*
2. Атдугев В.А., Овчинников В.А. Хирургия опухолей паренхимы почки. М.: Медицинская книга, 2004. 191 с.  
*Atduev V.A., Ovchinnikov V.A. Hirurgia opuholey parenhimi pochki. M.: Medichinskaia kniga, 2004. 191 с.*
3. Gill I.S. Patil M.B., Abreu A.L. et al. Zero ischemia anatomical partial nephrectomy: A novel approach. J Urol. 2012. № 187. P. 807–814.
4. Глыбочко П.В., Аляев Ю.Г., Дзеранов Н.К. и др. Виртуальное планирование органосохраняющих операций при опухоли почки. Медицинский вестник Башкортостана. 2013. Т. 8. № 2. С. 256–260.  
*Glibochko P.V., Alaev U.G., Dseranov N.K. i dr. Virtualnoe planirovanie organochraniausih operachii pri opuholi pochki. Medichinskii vtstnic Bashkortostana. 2013. T. 8. № 2. С. 256–260.*
5. Емельянов С.И., Вередченко В.А., Пушкарь Д.Ю. и др. Применение метода интраоперационной навигации при лапароскопической нефрэктомии. Эндоскопическая хирургия. 2009. № 2. С. 63–68.  
*Emilinov C.I., Veredchenko V.A., Pushkar D.U. i dr. Primenenie metoda intraoperachionnoi navigachii pri laparoscopicheskoi nephrectomii. Endoscopicheskaia hirurgia. 2009. № 2. С. 63–68.*
6. Ukimura O., Gill I.S. Imaging-assisted endoscopic surgery: Cleveland Clinic experience. J Endourology. 2008. № 22. P. 803–810.
7. Rassweiler J., Baumhauer M., Weickert U. et al. The role of imaging and navigation for natural orifice transluminal endoscopic surgery Journal of endourology. 2009. V. 23. № 5. P. 793–800.
8. Nakamoto M., Ukimura O., Faber K., Gill I.S. Current progress on augmented reality visualization in endoscopic surgery. Curr Opin Urol. 2012. № 22. P. 121–126.