

МИКРОФОКУСНАЯ РЕНТГЕНОГРАФИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОДНОЙ РЕШЕТКИ ПРИ КОХЛЕАРНОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

DOI: 10.17691/stm2017.9.3.05

УДК 535.34:634.1:376.356:616.281–089.844

Поступила 14.02.2017 г.



В.Н. Соколова, младший научный сотрудник научно-клинического отдела аудиологии, слухопротезирования и слухоречевой реабилитации¹;

Диаб Хассан Мохамад Али, д.м.н., профессор кафедры оториноларингологии²;

руководитель научно-клинического отдела заболеваний уха¹;

Н.Н. Потрахов, д.т.н., профессор, зав. кафедрой электронных приборов и устройств³;

А.Ю. Грязнов, д.т.н., профессор, зам. зав. кафедрой электронных приборов и устройств по учебной работе³;

Н.Е. Староверов, студент 6-го курса³;

А.Ю. Васильев, д.м.н., член-корреспондент РАН, профессор кафедры лучевой диагностики⁴

¹Научно-клинический центр оториноларингологии Федерального медико-биологического агентства России, Москва, 123182, Волоколамское шоссе, 30, кор. 2;

²Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова, Москва, 117997, ул. Островитянова, 1;

³Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, 197376, ул. Профессора Попова, 5;

⁴Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова, Москва, 127473, ул. Делегатская, 20/1

Цель исследования — определение возможностей микрофокусной рентгенографии для оценки анатомии улитки височной кости и положения электродной решетки при кохлеарной имплантации.

Материалы и методы. Для проведения эксперимента подготовлены височная кость человека, череп человека, голова свиньи, в улитке височных костей которых введена электродная решетка кохлеарного имплантата. Получены эталонные снимки с помощью рентгенографии, мультисрезовой компьютерной томографии. Проведено исследование методов микрофокусной рентгенографии с помощью портативных рентгеновских аппаратов семейства «ПАРДУС-Р» («ЭЛТЕХ-Мед», Россия).

Результаты. Качество полученных изображений проанализировано на основе нескольких критериев: возможность детальной визуализации электродной решетки, наличие артефактов, визуальная оценка качества изображения и др. В височной кости и человеческом черепе модиолус, костная спиральная пластинка и контакты электродной решетки были четко представлены. Качество изображений оценено как высокое и очень высокое. Лучшие результаты для контроля положения электродной решетки в улитке свиньи были получены в модернизированной трансорбитальной-внутриротовой проекции. С учетом этих данных разработана методика получения рентгеновского изображения кохлеарного имплантата.

Заключение. Доказано преимущество цифровой микрофокусной рентгенографии при оценке положения электродной решетки в височной кости. Рентгенография с микрофокусным источником излучения обеспечивает высокое разрешение при минимальной дозе экспозиции и отсутствие артефактов от металлических частей имплантата.

Ключевые слова: микрофокусная рентгенография; кохлеарная имплантация; портативный рентгеновский аппарат.

Как цитировать: Sokolova V.N., Diab Hassan Mohamad Aly, Potrakhov N.N., Gryaznov A.Y., Staroverov N.E., Vasilyev A.Y. Microfocus X-ray for electrode array position control during cochlear implantation. *Sovremennyye tehnologii v medicine* 2017; 9(3): 39–44, <https://doi.org/10.17691/stm2017.9.3.05>

English

Microfocus X-ray for Electrode Array Position Control during Cochlear Implantation

V.N. Sokolova, Junior Researcher, Research and Clinical Unit of Audiology, Hearing Aid, and Hearing and Speech Rehabilitation¹;

Для контактов: Соколова Вера Николаевна, e-mail: vera.nova@gmail.com

Diab Hassan Mohamad Aly, MD, DSc, Professor, Department of Otorhinolaryngology²; Head of the Research and Clinical Unit of Ear Diseases¹;
N.N. Potrakhov, DSc, Professor, Head of the Department of Electronic Devices³;
A.Y. Gryaznov, DSc, Professor, Deputy Head of the Department of Electronic Devices for Academic Affairs³;
N.E. Staroverov, 6th-year Student³;
A.Y. Vasilyev, MD, DSc, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Professor, Department of Radiodiagnosis⁴

¹Scientific Clinical Center of Otorhinolaryngology, Federal Medico-Biological Agency of Russia, 30, build 2 Volokolamskoye Shosse, Moscow, 123182, Russian Federation;

²Pirogov Russian National Research Medical University, 1 Ostrovitianov St., Moscow, 117997, Russian Federation;

³Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", 5 Professor Popov St., Saint Petersburg, 197376, Russian Federation;

⁴Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A.I. Evdokimov, 20/1 Delegatskaya St., Moscow, 127473, Russian Federation

The aim of the investigation was to determine the possibilities of microfocus X-ray for assessing the anatomy of the temporal bone and the position of an electrode array during cochlear implantation.

Materials and Methods. A human temporal bone, human skull, porcine head, in the temporal bones of which an electrode array of the cochlear implant was inserted, were prepared for the experiment. Reference radiographs were obtained by means of radiography and multislice computed tomography. Microfocus X-ray images were obtained using portable X-ray devices of the PARDUS-R family (ELTECH-Med, Russia).

Results. The quality of the images obtained was analyzed on the basis of several criteria: the ability of detailed electrode array visualization, presence of artefacts, visual evaluation of the image quality, etc. The modiolus, osseous spiral lamina, and electrode array contacts were clearly presented in the temporal bone and human skull. The image quality was evaluated as high and very high. The best results for the electrode array position control in the porcine cochlea were received in the upgraded transorbital-intraoral projection. Taking into consideration the data obtained, a method of acquiring X-ray images of a cochlear implant was elaborated.

Conclusion. The advantage of digital microfocus X-ray for the assessment of electrode array position in the temporal bone has been proved. The radiography with a microfocal radiation source provides a high resolution at a minimal exposure dose and absence of artefacts from the metal implant parts.

Key words: microfocus radiography; cochlear implantation; portable X-ray device.

Нормальное функционирование слухового анализатора играет важную роль в сохранении качества жизни взрослых и имеет особое значение для общего и речевого развития ребенка, его психологического становления [1–3]. В настоящее время основным методом реабилитации пациентов с врожденной и приобретенной сенсоневральной тугоухостью IV степени и глухотой является кохлеарная имплантация. В ходе хирургического этапа в улитку пациента вводится электродная решетка кохлеарного имплантата.

Накопленный большой опыт, внедрение современных технологий и усовершенствование хирургических методик данного вида вмешательства делают его безопасным и успешным. Тем не менее сохраняется риск неправильного расположения электродной решетки, особенно у пациентов с аномалией кохлеовестибулярной системы. Случаи экстракохлеарного расположения электродной решетки составляют от 0,17 до 2,12% [4]. Последствиями неправильного размещения электродной решетки служат не только невозможность обеспечить восстановление слуховой функции, необходимость проведения ревизионной операции и в некоторых случаях реимплантации, но и вероятность травмы смежных с улиткой структур.

Интраоперационный и/или послеоперационный рентгенологический контроль расположения электродной решетки обеспечивает своевременное выявление подобного осложнения. Разработанные на сегодняшний день методики имеют свои преимущества и недостатки. К интраоперационным методам получения изображений относится использование рентгеновских аппаратов типа С-дуга или конусно-лучевых компьютерных томографов. Использование конусно-лучевых компьютерных томографов позволяет визуализировать структуры височной кости с высокой контрастностью и пространственным разрешением, но данная методика не нашла пока широкого применения, так как алгоритмы съемки и реконструкции изображений при кохлеарной имплантации находятся на стадии разработки. В целом к недостаткам современных способов визуализации можно отнести наличие технических сложностей при использовании их непосредственно в операционной, а наиболее часто применяемые методы, такие как мультиспиральная компьютерная томография, конусно-лучевая компьютерная томография и трансорбитальная рентгенография, могут быть использованы в основном послеоперационно. Кроме того,

все известные способы визуализации при кохlearной имплантации обеспечивают достаточно высокую радиационную нагрузку [5]. Немаловажным фактором является также высокая стоимость данных методов. Необходимость интраоперационного контроля позиции электродной решетки в просвете улитки, особенно у пациентов с кохлеовестибулярной патологией, а также возможность применения более информативных, щадящих и удобных методов рентгенологической диагностики определяют актуальность разработки и внедрения в практику новых методов исследования в отоларингологии, в особенности при кохlearной имплантации.

Альтернативной методикой может служить микрофокусная рентгенография, которая достаточно широко применяется в последние годы в различных областях медицины. Этот способ получения рентгеновских изображений разработан отечественными специалистами [6, 7]. При его использовании источник рентгеновского излучения имеет размер фокусного пятна менее 0,1 мм. Как известно, чем меньше размер фокусного пятна, тем выше разрешение рентгеновского изображения, соответственно лучше визуализация миниатюрных структур объекта диагностики. Разработанные рентгеновские микрофокусные аппараты семейства «ПАРДУС-Р» (Россия) имеют небольшие размеры, что позволяет использовать их в том числе и интраоперационно. При этом средняя доза облучения пациента за один прицельный снимок, например в стоматологии [8], не превышает 1 мкЗв. Кроме того, уже на расстоянии 1 м максимальная мощность дозы для медперсонала, нормированная на рабочую нагрузку аппарата «ПАРДУС-Р», соответствует требованиям СанПиН 2.6.1192-03.

Цель исследования — экспериментально обосновать возможность и определить эффективность

применения микрофокусной рентгенографии для получения рентгенологических изображений при оценке расположения электродной решетки в спиральном канале улитки височной кости.

Материалы и методы. Для проведения экспериментального исследования подготовлены препарат височной кости, череп человека и голова свиньи с мягкими тканями. После антромастоидотомии и задней тимпанотомии в барабанную лестницу улитки кадаверной височной кости вводили электродную решетку кохlearного имплантата с длиной рабочей части 26 мм и наличием 20 электродных контактов, с диаметром в основании и в крайней точке — 1,07 и 0,5 мм. Расстояние между электродами — 0,7 мм (рис. 1, а).

Через наружный слуховой проход черепа человека (рис. 1, б) и головы свиньи (рис. 1, в) осуществляли доступ к медиальной стенке барабанной полости. Через круглое окно в спиральный канал улитки введены электродные решетки с длиной активной части 26,4 мм и 12 каналами стимуляции, с расстоянием между ними 2,4 мм.

Исследования проводили по следующей схеме:

мультиспиральная компьютерная томография объектов на стационарном аппарате Brilliance 64 (Philips, Нидерланды) для установления правильного интракохlearного положения электродной решетки;

рентгенография препарата височной кости на стационарном аппарате Luminos dRF (Siemens, Германия) для получения эталонного скиалогического снимка;

микрофокусная рентгенография препарата височной кости и черепа человека на портативном аппарате «ПАРДУС-Р» («ЭЛТЕХ-Мед», Россия) для определения физико-технических параметров съемки и необходимых укладок с целью оценки возможностей данного способа при установлении положения электродной решетки.

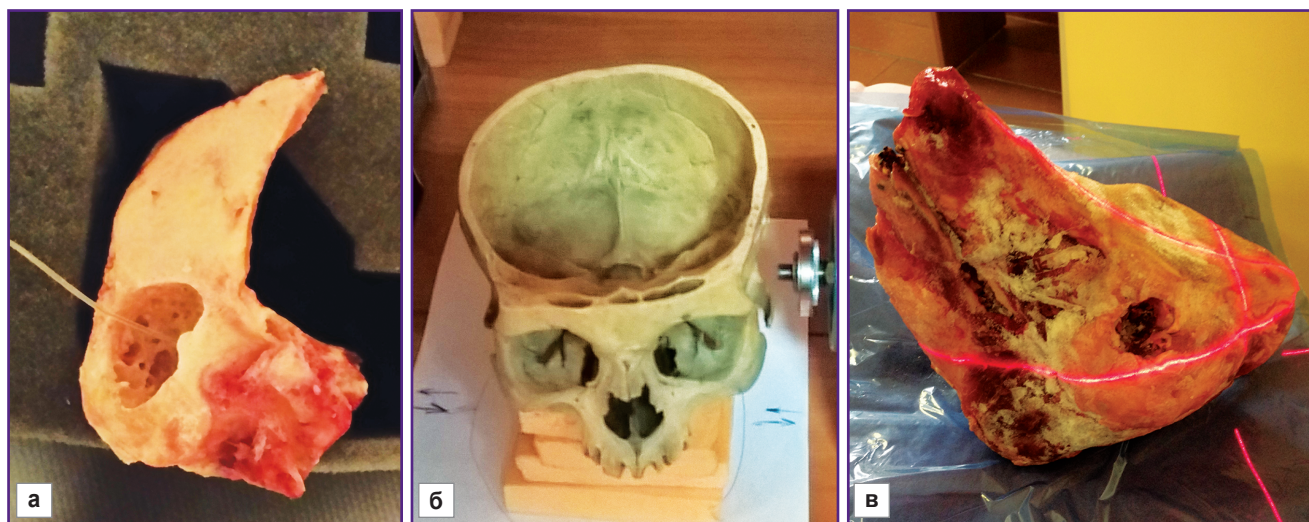


Рис. 1. Введение электродной решетки кохlearного имплантата:

а — в улитку кадаверной височной кости; б — через наружный слуховой проход черепа человека и в — головы свиньи с мягкими тканями

тродной решетки и дифференцировки анатомических структур;

микрофокусная конусно-лучевая томография для получения снимков кадаверной височной кости;

микрофокусная рентгенография головы свиньи на аппарате семейства «ПАРДУС-Р» для разработки интраоперационного способа получения изображения электродной решетки в улитке.

Результаты и обсуждение. В ходе экспериментального исследования получены микрофокусные рентгеновские снимки на аппарате «ПАРДУС-Р» разных объектов исследования при различных режимах съемки и укладках с визуализацией на цифровом приемнике изображения. Параметры экспозиции при проведении микрофокусной рентгенографии височной кости и черепа человека: напряжение — 60 кВ, время экспозиции — от 3 с до 6 с, расстояние от тубуса аппарата до объекта — 60 мм. Качество изображений анализировали по нескольким критериям: визуальная оценка качества изображения анатомических ориентиров пирамиды височной кости, положение электродной решетки по отношению к структурам лабиринта, определение отдельных электродных контактов, наличие артефактов, общее впечатление от качества изображения.

Получено 8 микрофокусных рентгенограмм препарата височной кости. В целом на полученных снимках электродная решетка дифференцировалась на всем протяжении, контуры ее были четкие, определялись отдельные электроды, артефакты на изображениях отсутствовали. Качество снимков оценено как хорошее. Были подобраны условия съемки, при которых достигалась хорошая визуализация как всей электродной решетки, так и отдельных электродных контактов. Различные проекции выбирали таким образом, чтобы на снимках было можно оценить положение электродов в базальном завитке улитки в виде пра-

вильной окружности и положение электродов относительно базального и среднего завитков улитки. На представленном в качестве примера рентгеновском снимке (рис. 2) на фоне структур каменистой части пирамиды отчетливо определяются три полукружных канала, преддверие. Электродная решетка, расположенная в базальном завитке улитки, на снимке имеет округлую форму. Электроды в апикальной части визуализируются четко.

По сравнению с эталонными рентгенограммами, полученными на стационарном аппарате, микрофокусный способ съемки обеспечивает лучшую визуализацию костных структур, более высокую степень различимости деталей изображения, а также возможность прямого увеличения изображения объекта съемки.

В ходе исследования также получено 6 снимков черепа человека, в улитку которого введена электродная решетка. Были выбраны три проекции — трансорбитальная, боковая, косая. На полученных снимках в трансорбитальной проекции электродная решетка определялась на всем протяжении улитки, принимая форму правильной окружности, с четкой дифференцировкой отдельных электродных контактов. При использовании боковой проекции детальная дифференцировка отдельных электродных контактов не была достигнута, возможно из-за эффекта суммации. Дальнейшая отработка вариантов укладки для данной проекции позволит визуализировать положение электродной решетки относительно базального и среднего завитков улитки. В целом полученные снимки черепа оценены как хорошие и удовлетворительные.

Были получены изображения височной кости при использовании сочетанного применения микрофокусной трубки и движения ее на 360° вокруг приемника рентгеновского излучения — методика микрофокусной томографии (рис. 3). Предлагаемый способ позволяет

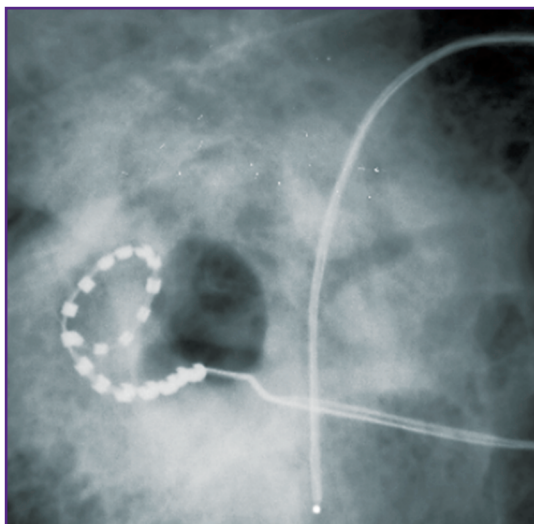


Рис. 2. Микрофокусный рентгеновский снимок препарата височной кости

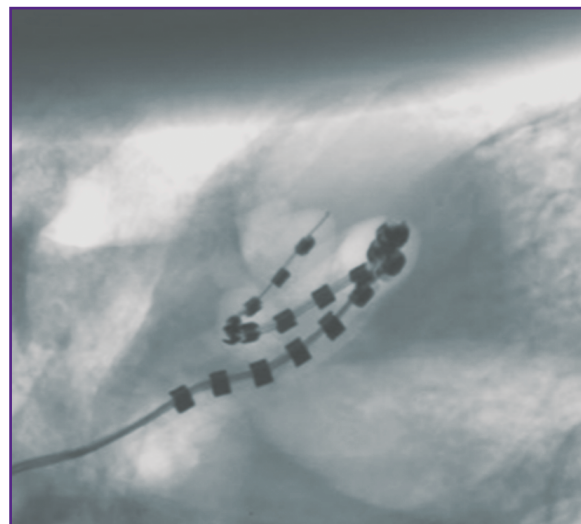
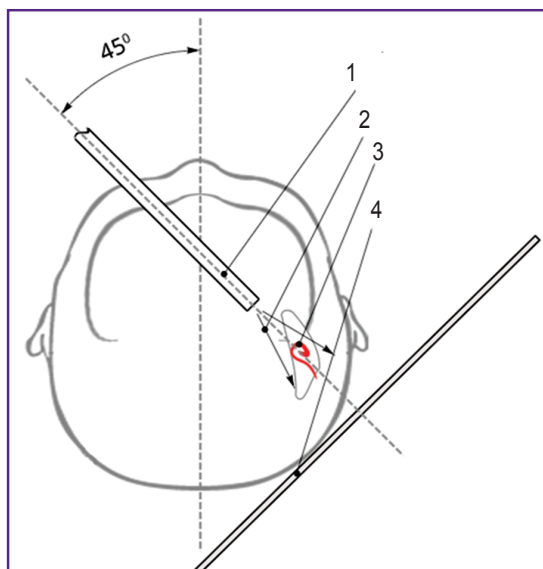


Рис. 3. Рентгеновский снимок височной кости, полученный по методике микрофокусной томографии

Рис. 4. Схема внутриротовой съемки при контроле положения электродной решетки:

1 — анод рентгеновской трубки; 2 — поток рентгеновского излучения; 3 — электродная решетка; 4 — приемник рентгеновского излучения



визуализировать структуры височной кости и отдельных электродов кохлеарного имплантата. Данные микрофокусные снимки были оценены как хорошие и очень хорошие, позволяющие детально изучить анатомические ориентиры височной кости, расположение электродной решетки относительно стенок спирального канала улитки, глубину ее введения.

Из-за отсутствия фантома головы человека с имитацией мягких тканей далее эксперимент выполняли на голове свиньи, в улитку которой вводили электродную решетку (см. рис. 1, в). Для контроля положения электродной решетки были использованы следующие параметры рентгеновской съемки: напряжение — 70 кВ, время экспозиции — 5 с. Получено 6 микрофокусных рентгенограмм. Лучшие результаты установлены в модернизированной трансорбитальной-внутриротовой проекции (рис. 4). Для ее реализации была использована специальная микрофокусная рентгеновская трубка с вынесенной на длинной анодной трубе мишенью. Использование микрофокусного источника излучения дает возможность получить увеличенные снимки с удовлетворительной резкостью и контрастностью изображения в трансорбитальной проекции путем изменения положения источника излучения. Метод съемки с введением анода в полость рта позволяет добиться существенно лучшей визуализации электродной решетки и точнее оценить ее положение.

Анализ экспериментальных данных позволил разработать способ получения рентгеновского изображения кохлеарного имплантата (заявка на получение патента РФ №2016126444 от 01.07.2016). Рентгенография с микрофокусным источником излучения обеспечивает высокое разрешение при минимальной дозе экспозиции и отсутствие артефактов от металлических частей имплантата. Экспозиция одного снимка была на 1–2 порядка ниже, чем при использовании всех известных способов диагностики.

Заключение. Проведенное экспериментальное исследование показало большие возможности и перспективы цифровой микрофокусной рентгенографии при оценке положения электродной решетки в височной кости. Полученные микрофокусные изображения могут послужить основой для создания нового класса диагностического рентгеновского оборудования — рентгеновских аппаратов для интраоперационной съемки при кохлеарной имплантации, что позволит усовершенствовать основной метод реабилитации пациентов с тугоухостью IV степени и глухотой.

Финансирование исследования. Исследование не финансировалось какими-либо источниками.

Конфликт интересов. У авторов нет конфликта интересов.

Литература/References

1. Староха А.В., Балакина А.В., Литвак М.М., Книпенберг А.Э., Щербик Н.В., Дружинин А.И. Особенности кохлеарной имплантации у пожилых пациентов. Бюллетень сибирской медицины 2014; 13(1): 122–128. Starokha A.V., Balakina A.V., Litvak M.M., Knipenberg A.E., Shcherbik N.V., Druzhinin A.I. Cochlear implantation prevalence in elderly. *Byulleten' sibirskoi meditsiny* 2014; 13(1): 122–128.
2. Kral A., O'Donoghue G.M. Profound deafness in childhood. *N Engl J Med* 2010; 363(15): 1438–1450, <https://doi.org/10.1056/nejmra0911225>.
3. Таварткиладзе Г.А. Кохлеарная имплантация. М; 2000. Tavartkiladze G.A. *Kokhlearnaya implantatsiya* [Cochlear implantation]. Moscow; 2000.
4. Tange R.A., Grolman W., Maat A. Intracochlear misdirected implantation of a cochlear implant. *Acta Otolaryngol* 2006; 126(6): 650–652, <https://doi.org/10.1080/00016480500445206>.
5. Иванова И.В. Лучевая диагностика при кохлеарной имплантации: современное состояние проблемы и перспективы развития (обзор литературы). Радиология — практика 2014; 6(48): 50–58. Ivanova I.V. Diagnostic radiology in cochlea implant surgery: current trends and future

development (literature review). *Radiologiya — praktika* 2014; 6(48): 50–58.

6. Васильев А.Ю., Потрахов Н.Н., Балицкая Н.В., Бойчак Д.В. Цифровые рентгеновские технологии в оценке структуры костной ткани. Вестник рентгенологии и радиологии 2012; 5: 22–25. Vasilyev A.Yu., Potrahov N.N., Balitskaya N.V., Boichak D.V. Digital X-ray technologies in the evaluation of bone structure. *Vestnik rentgenologii i radiologii* 2012; 5: 22–25.

7. Буланова И.М., Смирнова В.А., Бойчак Д.В. Малодозовая микрофокусная рентгенография в характеристике костной ткани (клинико-экспериментальное исследование).

Радиология — практика 2011; 4: 13–20. Bulanova I.M., Smirnova V.A., Boichak D.V. Digital small dose microfocal radiography in the characteristic of a bone fabric (clinical and experimental research). *Radiologiya — praktika* 2011; 4: 13–20.

8. Прохвятилов Г.И., Потрахов Н.Н., Гребнев Г.А., Гордеев С.А., Грязнов А.Ю. Портативный цифровой рентгенодиагностический комплекс «ПАРДУС-Стома». Военно-медицинский журнал 2009; 330(1): 73–76. Prokhvatilov G.I., Potrahov N.N., Grebnev G.A., Gordeev S.A., Gryaznov A.Yu. A compact digital radiodiagnostics complex “PARDUS-Stoma”. *Voенно-meditsinskiy zhurnal* 2009; 330(1): 73–76.