УДК 616.284-002-007-053.1-073.756.8
<https://doi.org/10.18692/1810-4800-2020-6-16-22>

Оптимизация предоперационной верификации изолированных аномалий среднего уха при помощи виртуальной КТ-эндоскопии

И. А. Аникин¹, С. В. Астащенко¹, М. В. Комаров¹, С. Н. Ильин¹, О. И. Гончаров¹

¹ Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи, Санкт-Петербург, 190013, Россия

Optimization of preoperative verification of isolated middle ear abnormalities using virtual CT endoscopy

I. A. Anikin¹, S. V. Astashchenko¹, M. V. Komarov¹, S. N. Il'in¹, O. I. Goncharov¹

¹ Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech, Saint Petersburg, 190013, Russia

Изолированные аномалии среднего уха являются одной из наиболее сложных областей практической оториноларингологии. Ее актуальность обусловлена редкой встречаемостью, высокой технической сложностью выполнения хирургического лечения, высокой частотой неудовлетворительных результатов оперативных вмешательств. Одним из наиболее важных факторов, определяющих успешность врачебных действий, является качественная рентген-визуализация на диагностическом этапе. Она позволяет правильно оценить анатомические особенности височной кости и спланировать тактику действий хирурга. В течение последних нескольких лет были внедрены новые технологические возможности для лучевого исследования уха. На протяжении нескольких последних десятилетий золотым стандартом лучевого исследования, применяемого в отохирургии является мультиспиральная компьютерная томография. Такое исследование зарекомендовало себя как информативный метод диагностики патологии среднего уха и должно использоваться перед планированием оперативных вмешательств, а также в качестве инструмента контроля в послеоперационном периоде и для оценки течения заболеваний среднего уха. С развитием компьютерно-математических технологий стало возможным на основе аксиальной проекции моделировать результат в трехмерном пространстве, что привело к появлению ветви лучевой диагностики, получившей название виртуальная КТ-эндоскопия. В работе выполнена оценка специфичности виртуальной КТ-эндоскопии, проводимой на предоперационном этапе пациентам с изолированными аномалиями цепи слуховых косточек с интактным стремечком в плане диагностики непрерывности цепи слуховых косточек, изменения их конфигурации и сращений с окружающими костными структурами. Выполнен компаративный анализ специфичности стандартной двухмерной компьютерной томографии и виртуальной КТ-эндоскопии, где проверочными результатами выступала эксплоративная тимпанотомия на примере 43 пациентов. Выявлены преимущества виртуальной КТ-эндоскопии в вопросе визуализации незначительных дефектов структур барабанной полости. Определена значимость виртуальной КТ-эндоскопии в проведении измерений барабанной полости в произвольных плоскостях. Кроме вышеуказанного, виртуальная эндоскопия открывает новые возможности для проведения измерений анатомических структур среднего уха в произвольных плоскостях, что позволяет, например, до операции рассчитать длину протеза, предполагаемого для использования в качестве пластики оссиккулярной цепи.

Ключевые слова: изолированные аномалии развития среднего уха, виртуальная КТ эндоскопия.

Для цитирования: Аникин И. А., Астащенко С. В., Комаров М. В., Ильин С. Н., Гончаров О. И. Оптимизация предоперационной верификации изолированных аномалий среднего уха при помощи виртуальной КТ-эндоскопии. *Российская оториноларингология*. 2020;19(6):16–22. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2020-6-16-22>

Isolated anomalies of the middle ear are one of the most difficult areas of practical otorhinolaryngology. Its relevance is due to the rare occurrence, high technical complexity of performing surgical treatment, and the high frequency of unsatisfactory results of surgical interventions. One of the most important factors determining the success of medical actions is high-quality X-ray imaging at the diagnostic stage. It allows you to correctly assess the anatomical features of the temporal bone and plan the tactics of the surgeon. Over the past few years, new technological possibilities have been introduced for the imaging of the ear. Over the past several decades, multispiral computed tomography has been the gold standard of radiation research used in otosurgery. This study has established itself as an informative method for diagnosing middle ear pathology and should be used before planning surgical interventions, as well as a monitoring tool in the postoperative period and for assessing the course of middle ear diseases. With the development of computer-mathematical technologies, over time, it became possible to model the result in three-dimensional space on the basis of axial projection, which led to the emergence of a branch of radiation diagnostics, called virtual CT endoscopy. The work evaluates the specificity of virtual CT endoscopy performed at the preoperative stage in patients with isolated anomalies of the ossicle chain with intact stapes, in terms of diagnosing the continuity of the ossicle chain, changes in their configuration and adhesions with the surrounding bone structures. A comparative analysis of the specificity of standard two-dimensional computed tomography and virtual CT endoscopy was performed, where explorative tympanotomy was used as test results in 43 patients. The advantages of virtual CT endoscopy in visualization of minor defects in the structures of the tympanic cavity were revealed. The importance of virtual CT endoscopy in measuring the tympanic cavity in arbitrary planes was determined. In addition to the above, virtual endoscopy opens up new possibilities for measuring the anatomical structures of the middle ear in arbitrary planes, which makes it possible, for example, to calculate the length of the prosthesis intended for use as plasty of the ossicular chain before surgery.

Keywords: isolated anomaly of the middle ear, virtual CT endoscopy.

For citation: Anikin I. A., Astashchenko S. V., Komarov M. V., Il'in S. N., Goncharov O. I. Optimization of preoperative verification of isolated middle ear abnormalities using virtual ct endoscopy. *Rossiiskaya otorinolaringologiya*. 2020;19(6):16–22. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2020-6-16-22>

На протяжении нескольких последних десятилетий золотым стандартом лучевого исследования, применяемого в отохирургии, является мультиспиральная компьютерная томография. Такое исследование зарекомендовало себя как информативный метод диагностики патологии среднего уха и должно использоваться перед планированием оперативных вмешательств, а также в качестве инструмента контроля в послеоперационном периоде и для оценки течения заболеваний среднего уха [1].

Популяризация реконструкции аксиальной проекции для одновременного просмотра результатов в трех проекциях (сагиттальная и коронарная), во многом обусловленная развитием стоматологии, привела к активному внедрению этого метода в рутинную оториноларингологическую практику. Результаты этого исследования в классическом варианте представляются в виде двухмерных иллюстраций, шаг за шагом отражающих структурные особенности исследуемой анатомической зоны. С развитием компьютерно-математических технологий стало возможным на основе аксиальной проекции моделировать результат в трехмерном пространстве, что привело к появлению ветви лучевой диагностики, получившей название виртуальная КТ-эндоскопия [2, 3]. Таким образом, появился диагностический инструмент, позволяющий максимально эффективно визуализировать строение исследуемого органа или структуры путем создания ее трехмерной модели,

основанной на компьютерном рендере первичной цифровой информации. Следует отметить, что метод виртуальной эндоскопии среднего уха активно развивался в начале 2000 годов, о чем свидетельствует количество научных работ, опубликованных по этой теме в указанный период. К сожалению, на тот момент ввиду низкого качества выполняемых КТ-исследований формирующаяся трехмерная модель имела большую погрешность и не давала какой-либо значимой информации. В связи с этим, большинство авторов признавали этот метод как уступающий перед обычным двухмерным изображением [4–6].

Очевидно, что качество получаемой трехмерной модели зависит напрямую от количества срезов, полученных при первичном исследовании, другими словами, от их так называемой толщины. Поэтому постепенное совершенствование и повышение доступности систем компьютерной томографии открывают новые возможности в виртуальной эндоскопии [7–9].

Цель исследования

Оценка возможностей виртуальной КТ-эндоскопии среднего уха у пациентов с изолированными аномалиями развития среднего уха с intactным стремечком и оценка специфичности этого метода при сравнении с данными двухмерной компьютерной томографии и при проведении ревизии барабанной полости.

Пациенты и методы исследования

В контексте проводимого научного исследования, посвященного хирургическому лечению аномалий цепи слуховых косточек с интактным стремечком, данный метод предоперационной диагностики проспективно применялся в отношении 25 пациентов и ретроспективно – 18 пациентов, отнесенных к целевой группе исследования. На представляемых пациентами дисках с записанными первичными данными исследования толщина срезов не превышала 0,6 мм.

Все пациенты в группе исследования получали хирургическое лечение по различным методикам. Находки при оперативном вмешательстве соотносились с результатами визуализации виртуальной эндоскопии и протоколами описания компьютерной томографии, выполняемыми врачами лучевой диагностики.

В данной работе использовалась программа RadiAnt DICOM Viewer/ru ver.5.2 (распространение freeware), позволяющая обработать снимки компьютерной томографии в формате dicom и представить конечный результат в виде трехмерной модели. Так называемый функционал программы позволяет оперативно работать с получаемой моделью, что заключается в возможности

«отсечения» не нужных для визуализации анатомических зон, измерения анатомических структур в необходимой плоскости, отличной от классических плоскостей компьютерной томографии, и возможность экспорта скорректированной модели в формат *.stl, позволяющий выполнить трехмерную печать на 3D-принтере.

Результаты исследования

Механизм обработки трехмерной модели среднего уха с помощью использованного программного обеспечения прост в исполнении, но требует определенных временных затрат.

В процессе анализа виртуальной эндоскопии последовательно производилось отсечение анатомических зон от исходной модели. Этапность этого процесса демонстрирует рис. 1.

На промежуточном этапе формировалась трехмерная модель, представляющая собой комплекс следующих элементов: медиальную стенку барабанной полости, валик канала лицевого нерва, слуховые косточки, передняя стенка костного отдела слуховой трубы, латеральная стенка аттика (рис. 2).

Далее с боковой позиции оценивались наличие либо отсутствие того или иного элемента

Рис. 1. Этапность отсечения анатомических зон от исходной модели.
Fig. 1. Stages of cutting off anatomical zones from the original model.

Рис. 2. Трехмерная модель структур барабанной полости. Красной линией выделены контуры молоточка; желтой линией выделены контуры наковальни; зеленой линией выделены контуры стремечка. Контакт между стремечком и длинным отростком наковальни отсутствует.

Fig. 2. 3D model of the structures of the tympanic cavity. The contours of the malleus are marked with the red line; the yellow line marks the contours of the incus; the contours of the stapes are marked with a green line. There is no contact between the stapes and the long process of the incus.

Рис. 3. Интраоперационные находки в указанном случае. Визуализируется недоразвитие длинного отростка наковальни (частично представлен фиброзным тяжом).

Fig. 3. Intraoperative findings in this case. The underdevelopment of the long process of the incus is visualized (partially represented by a fibrous cord).

Рис. 4. Трехмерная модель структур барабанной полости, передняя позиция. Красной линией выделены контуры молоточка; желтой линией выделены контуры наковальни; зеленой штриховкой выделена область сращения тела наковальни с латеральной стенкой аттика; розовыми линиями выделены костные перемычки, фиксирующие тело наковальни и головку молоточка к медиальной стенке аттика.

Fig. 4. 3D model of the structures of the tympanic cavity, anterior position. The contours of the hammer are marked with the red line; the yellow line marks the contours of the anvil; the area of fusion of the anvil body with the lateral wall of the attic is marked with green shading; bony bridges that fix the incus body and the head of the malleus to the medial wall of the attic are marked with pink lines.

цепи слуховых косточек, непрерывность их соединения (рис. 2, 3).

Далее с передней позиции оценивалось пространство Кречмана, исключались костные сращения между головкой молоточка и (или) телом наковальни и латеральной стенкой аттика либо медиальной стенкой аттика (рис. 4). Оценивались объем и наличие дополнительных костных структур в аттике.

Далее при необходимости выполнялись измерения между той или иной костными структурами в произвольной плоскости (минимальное расстояние между слуховыми косточками и стенками аттика, расстояние между головкой стремени и рукояткой молоточка и ряд других, размеры самого аттика) (рис. 5).

Рис. 5. Трехмерная модель структур барабанной полости с измерениями расстояний между ее структурами.

Fig. 5. 3D model of the structures of the tympanic cavity with measurements of the distances between its structures.

Таблица
Table

Параметр	Протокол описания КТ	Виртуальная эндоскопия	Интраоперационные находки
Нарушение непрерывности ЦСК	1 (17%)	6 (100%)	6
Отклонения от нормальной конфигурации	10 (56%)	17 (94%)	18
Наличие костных сращений	15 (60%)	23 (92%)	25

При сравнении протоколов описания КТ, виртуальной эндоскопии и интраоперационных находок прежде всего рассматривались 3 ключевых параметра: непрерывность цепи слуховых косточек, отклонение от нормальной конфигурации и наличие сращений с окружающими костными структурами (табл.).

Нарушение непрерывности цепи слуховых косточек заключалось во всех случаях в дефекте наковальни разной степени выраженности. Минимальные изменения были выявлены только при виртуальной КТ-эндоскопии. При оценивании двухмерной томографии было выявлено лишь однократно грубое нарушение целостности (полное отсутствие длинного отростка наковальни).

Отклонение от нормальной конфигурации включало сращение молоточка и наковальни в единый конгломерат, гипоплазию наковальни, удлинение рукоятки молоточка. При проведении двухмерной томографии, согласно протоколам исследования были найдены только сращения между наковальней и молоточком, то есть оценка длинной ножки и наковальни и рукоятки молоточка не проводилась (по данным заключений из сторонних учреждений). Виртуальная КТ-эндоскопия позволяла выявить гипоплазию длинного отростка наковальни, удлинение рукоятки молоточка.

Наличие костных сращений хорошо выявлялось при массивных сращениях молоточка и (или) наковальни с латеральной стенкой аттика при применении обоих методов. Однако небольшие костные перемычки, а также сращения с медиальной стенкой аттика выявлялись только при виртуальной КТ-эндоскопии.

Заключение

Виртуальная эндоскопия доступна в применении и широко используется на клинических базах ФГБУ СПб НИИ ЛОР МЗ РФ в качестве инструмента предоперационной диагностики у пациентов с различными аномалиями среднего уха, посттравматическими отитами с подозрениями на дислокацию цепи слуховых косточек, в ряде случаев хронического гнойного среднего отита при возникновении необходимости в проведении дифференциальной диагностики.

Проведенное исследование продемонстрировало высокую специфичность виртуальной КТ-эндоскопии, которая на современном этапе развития возможностей лучевых исследований не только не уступает классической двухмерной визуализации, но и превосходит ее.

Данное исследование показывает большую погрешность двухмерной компьютерной томографии при оценке степени развития и точной

локализации слуховых косточек. Виртуальная эндоскопия является полезным дополнением к рутинной КТ и позволяет получить представление о структурах барабанной полости, в том числе о цепи слуховых косточек, что играет особенно важную роль при подготовке к хирургическому вмешательству на среднем ухе. Точная предоперационная оценка степени состояния слуховых косточек имеет большое значение и определяет в зависимости от целостности молоточка, наковальни и стремечка наиболее подходящую хирургическую технику, которая будет использована в том или ином случае.

Таким образом, в настоящее время следует рассмотреть виртуальную КТ-эндоскопию как метод, необходимый для включения в стандарт обследования пациентов с изолированными аномалиями развития среднего уха.

Выводы

Несомненной новизной данного исследования является анализ возможностей применения виртуальной КТ-эндоскопии при одной из редких форм аномалий среднего уха, выполненный на достаточно большой выборке (43 пациента).

Рутинная КТ, в том числе с реконструкцией 3 классических проекций, не может удовлетворить клиническую потребность в адекватной визуализации структур барабанной полости, особенно в случае необходимости определения аномалии развития и целостности слуховых косточек.

Виртуальная эндоскопия, несомненно, превосходит другие виды представления данных лучевого исследования, поскольку позволяет практически вживую оценить состояние структур среднего уха под любым удобным ракурсом, в том числе не только имитирующим интраоперационный обзор, но и с тех сторон, которые недоступны для визуализации *in vivo*, что безусловно облегчит проведение эксплоративного этапа оперативного вмешательства.

Кроме вышеуказанного, виртуальная эндоскопия открывает новые возможности для проведения измерений анатомических структур среднего уха в произвольных плоскостях, что позволяет, например, до операции рассчитать длину протеза, предполагаемого для использования в качестве пластики оссиккулярной цепи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Карпищенко С. А., Зубарева А. А., Филимонов В. Н., Шавгулидзе М. А., Азовцева Е. А. Возможности конусно-лучевой компьютерной томографии височных костей у пациентов с отосклерозом. *Вестник оториноларингологии*. 2016;81:4:10–13 [Karpishchenko S. A., Zubareva A. A., Filimonov V. N., Shavgulidze M. A., Azovtseva E. A. The potential of cone beam computed tomography of the temporal bones in the patients presenting with otosclerosis. *Vestnik otorinolaringologii*. 2016;81:4:10-13 (in Russ.).] <https://doi.org/10.17116/otorino201681410-13>.
2. Morra A., Tirelli G., Rimondini A., Cioffi V., Russolo M., Giacomarra V., Pozzi-Mucelli R. Usefulness of virtual endoscopic three-dimensional reconstructions of the middle ear. *Acta Otolaryngol*. 2002;122(4):382-5. <https://doi.org/10.1080/00016480260000058>
3. Klingebiel R., Bauknecht H. C., Kaschke O., Werbs M., Freigang B., Behrbohm H., Rogalla P., Lehmann R. Virtual endoscopy of the tympanic cavity based on high-resolution multislice computed tomographic data. *Otol Neurotol*. 2001;22(6):803-7.
4. Himi T., Sakata M., Shintani T., Mitsuzawa H., Kamagata M., Satoh J., Sugimoto H. Middle ear imaging using virtual endoscopy and its application in patients with ossicular chain anomaly. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec*. 2000;62(6):316–20. <https://doi.org/10.1159/000027776>
5. Briggs R. D., Vrabec J. T., Cavey M. L., Johnson R. F. Jr. Virtual endoscopic evaluation of labyrinthine fistulae resulting from cholesteatoma. *Laryngoscope*. 2001;111(10):1828-33. <https://doi.org/10.1097/00005537-200110000-00030>.
6. Pauriol-Lacaze S., Pouget J. F., Michel F., Martin C., Veyret C.. Advantage of virtual endoscopy in the evaluation of the ossicular chain. *J Radiol*. 2003;84(12P 1):1961-8.
7. Ambrose Chung-Wai Ho, Raymond Lee, Michael Tiong-Hong Co, Chun-Kuen Chow, Kai-Ming Au Yeung. Is virtual endoscopy of the middle ear useful? *Ear Nose Throat J*. 2011;90(6):256-60. <https://doi.org/10.1177/014556131109000606>
8. Ghonim M. R., Shabana Y. K., Ashraf B., Salem M. A. Traumatic ossicular disruption with intact tympanic membrane: treatment modalities in 42 patients. *Clin Otolaryngol*. 2016;41(2):176-9. <https://doi.org/10.1111/coa.12461>
9. Tu B., Jiang L., Ma Y. Evaluation on the virtual CT endoscopy of the simple congenital malformation and its clinical application. *Lin Chung Er Bi Yan Hou Tou Jing Wai Ke Za Zhi*. 2014;28(13):958-60.

Информация об авторах

Аникин Игорь Анатольевич – доктор медицинских наук, профессор, руководитель отдела разработки и внедрения высокотехнологичных методов лечения, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи (190013, Россия, Санкт-Петербург, Бронницкая ул., д. 9); тел.: 8 (812) 575-94-47, e-mail: dr-anikin@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2977-2656>

Асташенко Светлана Витальевна – доктор медицинских наук, старший научный сотрудник отдела разработки и внедрения высоко-технологичных методов лечения, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи (190013, Россия, Санкт-Петербург, Бронницкая ул., д. 9); тел.: 8 (812) 575-94-47

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1863-2279>

Комаров Михаил Владимирович – кандидат медицинских наук, заведующий оториноларингологическим отделением, Городская больница № 26 (Россия, 196247, Санкт-Петербург, ул. Костюшко, д. 2); научный сотрудник отдела разработки и внедрения высокотехнологичных методов лечения, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи (190013, Россия, Санкт-Петербург, Бронницкая ул., д. 9); тел.: 8(812)-316-25-01

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4471-3603>

Ильин Сергей Никитович – кандидат медицинских наук, заведующий рентгенологическим отделением, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи (190013, Россия, Санкт-Петербург, Бронницкая ул., д. 9); тел.: 8 (812) 575-94-47.

✉ **Гончаров Олег Игоревич** – врач-оториноларинголог, Городская больница № 26 (Россия, 196247, Санкт-Петербург, ул. Костюшко, д. 2); врач-оториноларинголог, аспирант отдела разработки и внедрения высокотехнологичных методов лечения, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи (190013, Россия, Санкт-Петербург, Бронницкая ул., д. 9); тел.: 8 (812) 316-25-01, e-mail: entgoncharov@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3738-4944>

Information about authors

Igor' A. Anikin – MD, Professor, Head of the Department of Development and Implementation of High-Tech Treatment Methods, Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech (9, Bronnitskaya str., St. Petersburg, 190013, Russia); phone 8 (812) 575-94-47, e-mail: dr-anikin@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2977-2656>

Svetlana V. Astashchenko – MD, Senior Researcher of the Department of Development and Implementation of High-Tech Treatment Methods, Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech (9, Bronnitskaya str., St. Petersburg, 190013, Russia); phone 8 (812) 575-94-47

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1863-2279>

Mikhail V. Komarov – PhD (Medicine), Head of the Department of Otorhinolaryngology, City Hospital No. 26 (2, Kostyushko str., St. Petersburg, 196247, Russia); Researcher Officer, Department of Development and Implementation of High-Tech Treatment Methods, Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech (9, Bronnitskaya str., St. Petersburg, 190013, Russia); phone 8 (812) 316-25-01

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4471-3603>

Sergei N. Il'in – PhD (Medicine), Head of the X-ray Department, Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech (9, Bronnitskaya str., St. Petersburg, 190013, Russia); phone 8 (812) 575-94-47

✉ **Oleg I. Goncharov** – Otorhinolaryngologist, City Hospital No. 26 (2, Kostyushko str., St. Petersburg, 196247, Russia); Otorhinolaryngologist, Postgraduate Student of the Department of Development and Implementation of High-Tech Treatment Methods, Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech (9, Bronnitskaya str., St. Petersburg, 190013, Russia); phone 8 (812) 316-25-01, e-mail: entgoncharov@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3738-4944>