

Возможности лучевых методов исследования в оценке эффективности хирургического этапа кохлеарной имплантации (клинико-экспериментальное исследование)

К.м.н. И.В. Иванова¹, к.м.н. Д.В. Макарова¹, профессор Диаб Хассан Мохамад Али^{2,3},
Д.м.н. Д.А. Лежнев¹

¹ ФГБОУ ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова Минздрава России, Москва

² ФГБОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва

³ ФГБУ НКЦО ФМБА России, Москва

РЕЗЮМЕ

Общепризнанным методом восстановления слуховой функции у лиц, страдающих сенсоневральной тугоухостью IV степени и глухотой, является кохлеарная имплантация (КИ). Для получения дополнительной информации о позиционировании внутриулиткового электрода и траектории его размещения выполняется мультисрезовая компьютерная томография (МСКТ). В качестве альтернативного метода лучевого исследования рассматривается конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ).

Цель исследования: изучить возможности МСКТ и КЛКТ в оценке расположения имплантата по отношению к структурам внутреннего уха на послеоперационном этапе КИ.

Материал и методы: проведен сравнительный анализ результатов МСКТ/КЛКТ-исследований 2-х препаратов кадаверных височных костей и результатов обследования 3-х пациентов после односторонней КИ в возрасте от 5 до 23 лет. Введение электродной решетки имплантата осуществлялось трансмембранным способом, длина рабочей части активного электрода составляла 26,4 мм с наличием 12/20 каналов стимуляции. Расстояние между электродными контактами — 0,7/2,4 мм. МСКТ выполнялась на аппарате Brilliance 64 (Philips, США), КЛКТ — на конусно-лучевом компьютерном томографе NewTom 5G (QR s. r.l., Италия).

Результаты исследования: возможности МСКТ и КЛКТ в оценке расположения активного электрода относительно структур внутреннего уха равнозначны, а косая коронарная реконструкция надежна и проста в изучении интракохлеарного положения электродной решетки.

Заключение: методы лучевого обследования в послеоперационном периоде необходимо использовать не только для определения интракохлеарного размещения электродной системы, но и для подтверждения корреляции между расположением электродной решетки и результатами аудиологического восприятия. Предложенные в работе критерии анализа изображений позволят унифицировать протокол оценки визуализируемой картины, что, в свою очередь, даст возможность оценить качество КИ.

Ключевые слова: мультисрезовая компьютерная томография; конусно-лучевая компьютерная томография; кохлеарная имплантация; критерии; хирургическое вмешательство.

Для цитирования: Иванова И.В., Макарова Д.В., Диаб Хассан Мохамад Али, Лежнев Д.А. Возможности лучевых методов исследования в оценке эффективности хирургического этапа кохлеарной имплантации (клинико-экспериментальное исследование) // PMЖ. 2018. № 3(II). С. 48–52.

ABSTRACT

The possibilities of radiological methods in evaluation of the effectiveness of the surgical stage of cochlear implantation (clinical and experimental study)

Ivanova I. V.¹, Makarova D. V.¹, Diab Khasan Mokhamad Ali^{2,3}, Lezhnev D. A.¹

¹ A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry

² Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow

³ Scientific and Clinical Center of Otorhinolaryngology of the Federal Medico-Biological Agency of the Russian Federation

Cochlear implantation (CI) is a generally accepted method for the restoration of auditory function in persons suffering from sensorineural hearing loss of the fourth degree and deafness. To obtain additional information about positioning of the intracochlear electrode and the way of its placement, multi-slice computed tomography (MSCT) is used. Cone-beam computed tomography (CBCT) is considered as an alternative method of radiation research in CI.

Aim: to study the possibilities of MSCT and CBCT in assessing the position of the implant towards the inner ear structures at the postoperative stage of CI.

Patients and Methods: the authors made a comparative analysis of the results of MSCT / CBCT studies of 2 preparations of cadaveric temporal bones and the results of examination of 3 patients after unilateral CI at the age of 5 to 23 years old.

The electrode array was implanted with a transmembrane method, the length of the working part of the active electrode was 26.4 mm with 12/20 stimulation channels. The distance between the electrode contacts was 0.7 / 2.4 mm. MSCT was performed on the apparatus Brilliance 64 (Philips, USA), CBCT was performed on a cone-beam computer tomograph NewTom 5G (QR s. r.l., Italy).

Results: the capabilities of CBCT and MSCT in assessing the position of the active electrode towards the structures of the inner ear are equivalent, and the oblique coronary reconstruction proved to be a reliable and easy-to-use technique for confirming the intracochlear position of the electrode array.

Conclusion: radiological methods of examination in the postoperative period should be used not only to determine the intracochlear position of the electrode system, but also the correlation between the location of the electrode array and the results of the audiological perception. The criteria of image analysis proposed in the work will allow to unify the evaluation report of the visualized picture, which, in turn, makes it possible to assess the quality of CI.

Key words: multislice computed tomography; cone-beam computed tomography; cochlear implantation; criteria; surgery.

For citation: Ivanova I. V., Makarova D. V., Diab Khasan Mokhammad Ali, Lezhnev D. A. The possibilities of radiological methods in evaluation of the effectiveness of the surgical stage of cochlear implantation (clinical and experimental study) // RMJ. 2018. № 3(II). P. 48–52.

ВВЕДЕНИЕ

Общепризнанным методом восстановления слуховой функции у лиц, страдающих сенсоневральной тугоухостью IV степени и глухотой, является кохлеарная имплантация (КИ). Показания к выполнению КИ постоянно пересматриваются, но неизменно в сторону расширения. Применение в клинической практике малоинвазивных технологий привело к изменениям в хирургических подходах, которые стали разнообразными по характеру и объему вмешательств, что позволило сократить количество неудовлетворительных результатов КИ [1, 2]. В настоящее время в качестве основных факторов акустического восприятия обсуждаются глубина введения и расположение электродной решетки в спиральном канале улитки.

Лучевые методы диагностики являются неотъемлемой составляющей комплексного клинического обследования пациентов на различных этапах проведения КИ. В клинической практике для объективной оценки положения имплантата доступны различные методы визуализации. Стандартная рентгенография с применением специализированных укладок (по Стенверсу, трансорбитальная) информативна в оценке расположения имплантата, конфигурации электродной решетки, однако дает лишь косвенное представление о локализации активного электрода в улитке. Традиционное рентгенологическое исследование также связано с получением суммационной сканологической картины, что затрудняет анатомическую детализацию структур внутреннего уха и требует от исследователя необходимых навыков в получении рентгенограмм [3].

Для получения дополнительной информации о позиционировании внутриулиткового электрода и траектории его размещения выполняется мультисрезовая компьютерная томография (МСКТ). В научной литературе подробно представлены сведения о возможностях МСКТ в визуализации анатомических структур височной кости, вместе с тем из-за наличия артефактов от внутренних компонентов кохлеарного имплантата имеются ограничения в качестве получаемых изображений, разграничении отдельных электродных контактов и окружающих их структур [4, 5].

В качестве альтернативного метода лучевого исследования при КИ рассматривается конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ). В отличие от МСКТ КЛКТ выполняется с одним оборотом конусообразного луча, охватывая всю область интереса. Обладая высоким пространственным и контрастным разрешением, данный метод позволяет дать точную оценку структур височной кости, уменьшает

артефакты, вызванные металлическими элементами. Важным преимуществом КЛКТ является низкая лучевая нагрузка на пациента за счет непродолжительного прямого воздействия рентгеновского излучения и высокой чувствительности плоскопанельного детектора [6–8].

Таким образом, выполнение лучевого обследования в раннем послеоперационном периоде должно обеспечить точную оценку расположения имплантата при сохранении детальной визуализации структур внутреннего уха. Для прогнозирования результатов слухоречевой реабилитации требуется детальный анализ диагностических изображений, учитывающий различные хирургические подходы, конструктивные особенности электродных систем и положение электродной решетки в спиральном канале улитки. Кроме того, метод исследования требует стандартной интерпретации разными исследователями визуализируемой картины.

Цель исследования: изучить возможности МСКТ и КЛКТ в оценке расположения имплантата относительно структур внутреннего уха на послеоперационном этапе кохлеарной имплантации.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование выполнено на базе научно-клинического отдела заболеваний уха НКЦО ФМБА России, Центра лучевых методов диагностики Главного клинического госпиталя МВД России, отделения рентгеновской и лучевой диагностики Клинического центра челюстно-лицевой, пластической хирургии и стоматологии Клиники МГМСУ им. А. И. Евдокимова.

Работа выполнена в соответствии с Хельсинкской декларацией (принята в июне 1964 г. (Хельсинки, Финляндия) и пересмотрена в октябре 2000 г. (Эдинбург, Шотландия)) и одобрена локальным этическим комитетом.

С апробацией в эксперименте и в клинической практике проведен сравнительный анализ результатов МСКТ/КЛКТ-исследований 2-х препаратов кадаверных височных костей и результатов обследования 3-х пациентов после односторонней КИ в возрасте от 5 до 23 лет. Введение электродной решетки имплантата осуществлялось трансмембранным способом, длина рабочей части активного электрода составляла 26,4 мм с наличием 12/20 каналов стимуляции. Расстояние между электродными контактами — 0,7/2,4 мм.

МСКТ выполнялась на аппарате Brilliance 64 (Philips, США) с техническими характеристиками: напряжение

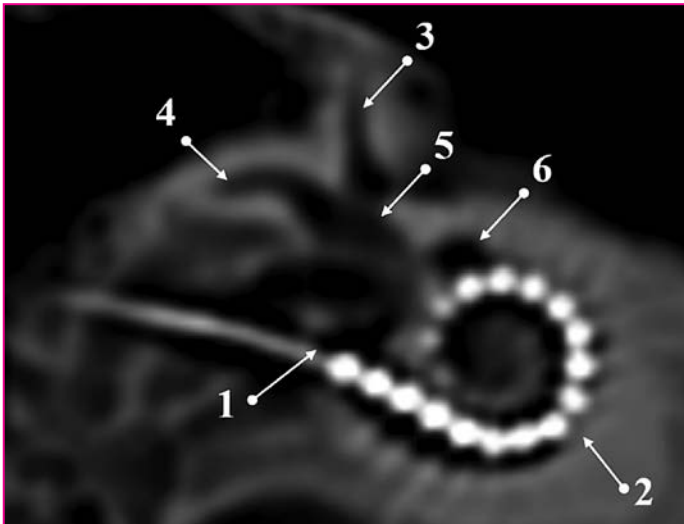


Рис. 1. КЛКТ, косая коронарная реконструкция: 1 — круглое окно улитки; 2 — базальный завиток улитки; 3 — верхний полукружный канал; 4 — наружный полукружный канал; 5 — преддверие улитки; 6 — лабиринтная часть канала лицевого нерва (указано стрелками)

140 кВ, сила тока 350 мА, коллимация 20×0,625 мм, время вращения 0,5 с, время сбора информации 15–20 с, толщина среза при построении мультипланарных реконструкций 0,67 мм.

КЛКТ проводили на конусно-лучевом компьютерном томографе NewTom 5G (QR s. r.l., Италия), с техническими характеристиками: напряжение 110 кВ, сила тока 0,6–0,8 мА, размер плоскопанельного детектора 200×250 мм, максимальный размер поля сканирования 180×160 мм, время сканирования 18 с, толщина среза при построении мультипланарных реконструкций 0,3 мм.

Постпроцессорная обработка изображений. С учетом пространственного расположения улитки и принятой для ее измерений трехмерной системы координат, в ходе постпроцессорной обработки томограмм, в дополнение к стандартным проекциям, использовались двойные косые реконструкции:

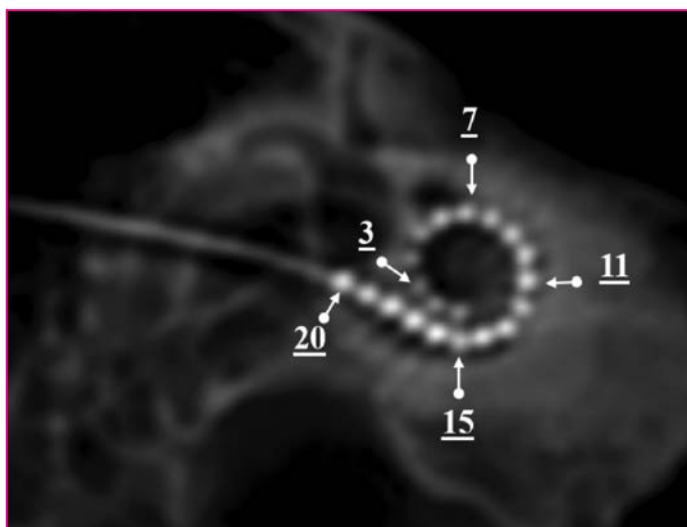


Рис. 2. КЛКТ, косая коронарная реконструкция, электродная решетка с наличием 20 электродных контактов в спиральном канале улитки: в области окна улитки 20-й электродный контакт, 1-й контакт в вершине улитки. Порядковый номер электродного контакта: 3, 7, 11, 15, 20 (указано стрелками)

- косая коронарная реконструкция в плоскости, проходящей через базальный оборот улитки, с последующим увеличением толщины слоя до 5 мм;
- косая аксиальная реконструкция в плоскости длинной оси модиолуса, перпендикулярная косой коронарной проекции;
- косая сагиттальная (перимодиолярная) реконструкция, перпендикулярная косой аксиальной проекции, пересекающая центр модиолуса.

Глубина введения электродной решетки измерялась в косой коронарной проекции по методу J. Xu (2000). Проводилась линия от верхнего полукружного канала через центр преддверия, место пересечения линии с электродной решеткой соответствовало проекции круглого окна улитки. К данной разметке выстраивался перпендикуляр, проходящий через центр спирального канала, т. е. обозначалась эталонная (референтная) линия. Глубина введения электродной решетки рассчитывалась с учетом углового положения наиболее апикально расположенного электрода по отношению к эталонной разметке. В зависимости от соотношения между дистальным электродом и числом завитков улитки по референтной линии, данная величина прибавлялась к 360° или вычиталась из 720°.

Положение электродной системы в спиральном канале улитки определяли в косой сагиттальной проекции: ось X выставляли по базальному завитку улитки, ось Y — в направлении модиолуса, изображение разворачивали под углом 45°, тем самым ось Z совпадала с центром модиолуса. Изображение поворачивали на 90°, чтобы получить перимодиолярную реконструкцию в вертикальном направлении. Размещение электродов по нижнебоковой стенке спирального канала расценивали как позицию решетки в барабанной лестнице, соответственно более высокое положение, т. е. по верхней стенке, определяли как дислокацию решетки в лестницу преддверия.

Анализ изображений. Сравнительная характеристика МСКТ и КЛКТ-изображений выполнялась по нескольким критериям:

- анатомо-топографическое расположение имплантата относительно структур внутреннего и среднего уха;
- положение электродной решетки в спиральном канале улитки;
- дифференцировка отдельных электродных контактов;
- визуализация внутренней стенки улитки;
- глубина введения электродной решетки;
- артефакты от металла.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Построение косых коронарных реконструкций обеспечило отчетливую анатомическую детализацию структур внутреннего уха: спиральный канал, окно улитки, полукружные каналы, преддверие, лабиринтная часть лицевого нерва (рис. 1), что позволило оценить интракохлеарное расположение электродной решетки. Точное позиционирование электродной решетки в улитке выявлялось одинаково достоверно с помощью МСКТ и КЛКТ.

Малое расстояние между электродными контактами определяет наличие артефактов от металлических элементов в виде веерообразно расходящихся гиподенсных полос. Идентификация отдельных электродных контактов при выполнении КЛКТ значительно превосходила аналогичный критерий при выполнении МСКТ (рис. 2), при этом отчетливая их визуализация была возможна как на уровне базального, так и апикального завитка улитки.



Рис. 3. КЛКТ, косая сагиттальная реконструкция (перимодиолярная): ST — барабанная лестница спирального канала; SV — лестница преддверия (показано фигурными стрелками)

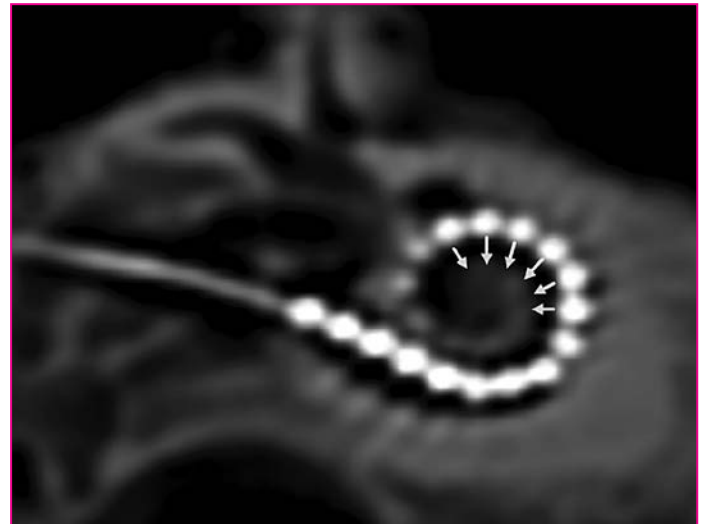


Рис. 4. КЛКТ, косая коронарная реконструкция: равномерное расстояние между центром каждого электродного контакта и внутренней стенкой улитки (показано стрелками)

Для определения локализации электрода в спиральном канале использовалась перимодиолярная реконструкция. Положение электродов по нижнебоковой стенке канала расценивали как размещение решетки в барабанной лестнице (рис. 3), соответственно более высокое положение, т. е. по верхней стенке, расценивали как размещение в лестнице преддверия.

Дополнительно к перимодиолярной реконструкции анализировались косая коронарная и косая аксиальная проекции. Определяемое визуально равномерное расстояние между центром каждого электродного контакта и внутренней стенкой улитки в косой коронарной проекции (рис. 4), а также положение электродной решетки по нижней стенке на уровне базального завитка улитки в косой аксиальной проекции (рис. 5) подтверждало правильное позиционирование имплантата. Наиболее информативными при выявлении вышеуказанных критериев были изображения, полученные методом КЛКТ.

В каждом случае оценивалась глубина введения электродной решетки (рис. 6), которая косвенно подтверждала правильное ее размещение в спиральном канале улитки.

Главным недостатком работы явилось небольшое количество исследований, что ограничивает возможности для проведения статистического анализа. Тем не менее стандартизация анализа полученных данных лучевого обследования увеличила информационную емкость результатов исследования. Сравнительная характеристика возможностей МСКТ и КЛКТ в оценке расположения имплантата по отношению к структурам внутреннего уха на послеоперационном этапе КИ представлена в таблице 1.

ОБСУЖДЕНИЕ

Адекватная стимуляция клеток спирального ганглия и хорошие результаты слухоречевой реабилитации напрямую зависят от полноценного введения и расположения

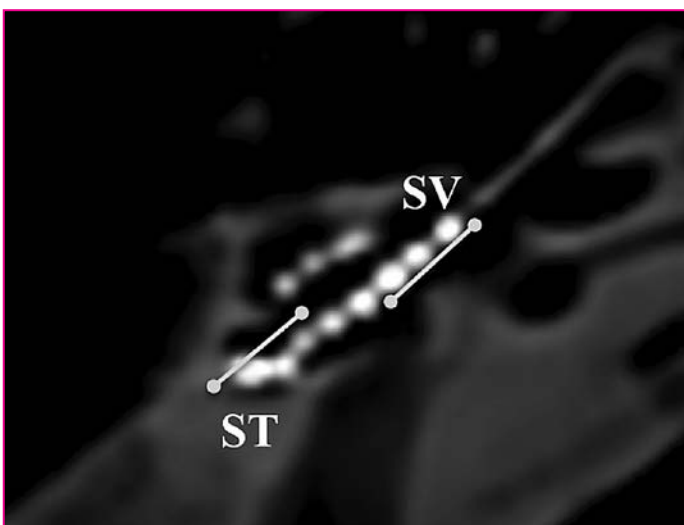


Рис. 5. КЛКТ, косая аксиальная реконструкция на уровне базального завитка улитки: расположение электродной решетки в барабанной лестнице спирального канала (ST), SV — лестница преддверия

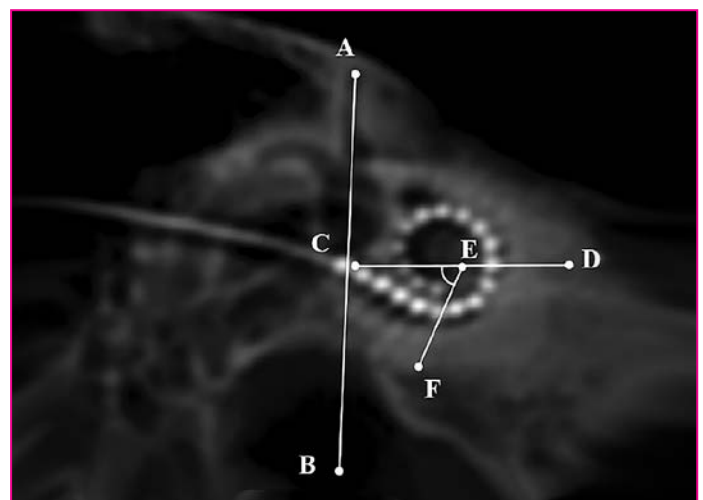


Рис. 6. КЛКТ, косая коронарная реконструкция, измерения глубины введения электродной решетки: АВ — прямая от верхнего полукружного канала через центр преддверия, CD — перпендикуляр к прямой АВ через центр спирального канала улитки, CEF — угловое положение дистального электродного контакта

Таблица 1. Сравнительная характеристика возможностей МСКТ и КЛКТ на послеоперационном этапе кохлеарной имплантации

Критерий	МСКТ	КЛКТ
Анатомо-топографическое взаиморасположение имплантата и структур внутреннего и среднего уха	+	+
Положение электродной решетки в спиральном канале улитки	±	+
Дифференцировка отдельных электродных контактов	±	+
Визуализация внутренней стенки улитки	±	+
Глубина введения электродной решетки	±	+
Артефакты от металла	+	-

электродной решетки в спиральном канале улитки. Используемые в работе постпроцессорные реконструкции изображений обеспечивают как комплексную оценку положения имплантата, так и визуализацию отдельных его компонентов.

Наши результаты показывают, что возможности КЛКТ и МСКТ в оценке расположения активного электрода относительно структур внутреннего уха равнозначны, а косая коронарная реконструкция оказалась надежной и простой в использовании методикой для подтверждения интракохлеарного положения электродной решетки.

Оптимальным местом размещения электрода является барабанная лестница. Однако во время доставки активного электрода может произойти его дислокация в лестницу преддверия. Наиболее уязвимым местом для смещения является восходящий сегмент базального завитка, что связано с постоянным сужением лестницы улитки в этой области. Косая сагиттальная реконструкция описана многими авторами, она позволяет локализовать электродную решетку вдоль боковой стенки спирального канала, что соответствует ее размещению в барабанной лестнице. Так, M. Marx et al. [9], исследуя 10 имплантированных кадаверных височных костей, указывают на высокую чувствительность (100%) и специфичность (90%) перимодиолярной реконструкции, основывая свои выводы на сопоставлении данных КЛКТ и гистологического анализа препаратов. В экспериментальной работе J. Zou et al. [10] сообщают о значительных преимуществах КЛКТ, с использованием новых параметров сканирования, в определении положения электродной системы в барабанной лестнице спирального канала улитки. В качестве эталонных изображений использовались томограммы, полученные при микро-КТ с контрастным усилением 1% водным раствором йода, демонстрирующие такие тонкие структуры, как мембрана Рейсснера, сосудистая полоска, спиральная связка, базилярная мембрана, спиральный лимб, костная спиральная пластинка и канал Розенталя. В нашем исследовании более качественные перимодиолярные реконструкции получены на КЛКТ-томограммах, обеспечивших четкую визуализацию электродной решетки в спиральном канале, что подтверждается результатами других авторов [11].

Расстояние между электродными контактами и внутренней стенкой спирального канала считается еще одним важным фактором, определяющим эффективность слухоречевой реабилитации, хотя доказательства в пользу этого приводят редко. Для измерения расстояния может быть использована как КЛКТ, так и МСКТ при условии, что томографическая система имеет достаточное разрешение в дифференцировке

отдельных электродных контактов. Результаты проведенного исследования не противоречат накопленным к настоящему времени клиническим данным, указывающим на превосходство КЛКТ в качестве изображений благодаря высокому пространственному разрешению и отсутствию артефактов от металлических элементов [12].

В русскоязычной научной литературе имеются немногочисленные работы, посвященные использованию КЛКТ в отохирургии. Данное исследование является, по сути, первой отечественной публикацией, посвященной сравнительной характеристике возможностей МСКТ и КЛКТ в послеоперационной оценке результатов КИ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методы лучевого обследования в послеоперационном периоде необходимо использовать не только для определения интракохлеарного размещения электродной системы, но и для определения корреляции между расположением электродной решетки и результатами аудиологического восприятия. Предложенные в работе критерии анализа изображений позволяют унифицировать протокол оценки визуализируемой картины, что, в свою очередь, даст возможность оценить качество выполненной КИ. Дополнительные исследования по определению возможностей и ограничений КЛКТ позволят оптимизировать алгоритм лучевого обследования пациентов после КИ в клинических условиях.

Литература

1. Диаб Х. М., Дайхес Н. А., Юсифов К. Д. и др. Осложнения кохлеарной имплантации // *Анналы хирургии*. 2015. № 4. С.5–8 [Diab H.M., Dajhes N.A., Jusifov K.D. i dr. Oslozhneniya kohlearnoj implantacii // *Annaly hirurgii*. 2015. № 4. S.5–8 (in Russian)].
2. Диаб Х. М., Дайхес Н. А., Сулейманов Ю. Б. и др. Оптимизация доступа к спиральному каналу улитки у пациентов с кохлеовестибулярными аномалиями // *Вестн. оториноларингологии*. 2016. № 81 (2). С.23–25 [Diab H.M., Dajhes N.A., Sulejmanov Ju.B. i dr. Optimizacija dostupa k spiral'nomu kanalu ulitki u pacientov s kohleovestibuljarnymi anomalijami // *Vestn. otorinolaringologii*. 2016. № 81 (2). S.23–25 (in Russian)].
3. Иванова И. В. Лучевая диагностика при кохлеарной имплантации: современное состояние проблемы и перспективы развития (обзор литературы) // *Радиология — практика*. 2014. № 6 (48). С.50–58 [Ivanova I.V. Luchevaja diagnostika pri kohlearnoj implantacii: sovremennoe sostojanie problemy i perspektivy razvitiija (obzor literatury) // *Radiologija — praktika*. 2014. № 6 (48). S.50–58 (in Russian)].
4. Razafindranaly V., Truy E., Pialat J.B. et al. Cone Beam CT Versus Multislice CT: Radiologic Diagnostic Agreement in the Postoperative Assessment of Cochlear Implantation // *Otol Neurotol*. 2016. Vol. 37 (9). P.1246–1254.
5. Theunisse H.J., Joemai R.M., Maal T.J. et al. Cone-beam CT versus multi-slice CT systems for postoperative imaging of cochlear implantation—a phantom study on image quality and radiation exposure using human temporal bones // *Otol Neurotol*. 2015. Vol. 36 (4). P.592–599.
6. Макарова Д. В., Кушнир К. В. Стандартизированный протокол описания результатов конусно-лучевой компьютерной томографии при ревматоидном артрите // *Соврем. технол. мед*. 2015. № 7 (4). С.135–140 [Makarova D.V., Kushnir K.V. Standartizirovannyj protokol opisaniija rezul'tatov konusno-luchevoj komp'juternoj tomografii pri revmatoidnom artrite // *Sovrem. tehno. med*. 2015. № 7 (4). S.135–140 (in Russian)].
7. Boyer E., Karkas A., Attye A. et al. Scalar Localization by Cone-Beam Computed Tomography of Cochlear Implant Carriers: A Comparative Study Between Straight and Perimodiolar Precurved Electrode Arrays // *Otol Neurotol*. 2015. Vol. 36 (3). P.422–429.
8. Cushing S.L., Daly M.J., Treaba C.G. et al. High-resolution cone-beam computed tomography: a potential tool to improve atraumatic electrode design and position // *Acta Otolaryngol*. 2012. Vol. 132 (4). P.361–368.
9. Marx M., Risi F., Escude B. et al. Reliability of cone-beam computed tomography in scalar localization of the electrode array: a radio histological study // *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2014. Vol. 271 (4). P.673–679.
10. Zou J., Hannula M., Lehto K. et al. X-ray microtomographic confirmation of the reliability of CBCT in identifying the scalar location of cochlear implant electrode after round window insertion // *Hear Res*. 2015. Vol. 326. P.59–65.
11. Lecerf P., Bakhos D., Cottier J.P. et al. Midmodiolar Reconstruction as a Valuable Tool to Determine the Exact Position of the Cochlear Implant Electrode Array // *Otol Neurotol*. 2011. Vol. 32 (7). P.1075–1081.
12. De Seta D., Mancini P., Russo F.Y. et al. 3D curved multiplanar cone beam CT reconstruction for intracochlear position assessment of straight electrodes array. A temporal bone and clinical study // *Acta Otorhinolaryngol Ital*. 2016. Vol. 36 (6). P.499–505.