



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕДОПЕРАЦИОННОГО 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ В ДИАГНОСТИКЕ И ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ ТРЕТИЧНОГО ГИПЕРПАРАТИРЕОЗА

Самарский государственный медицинский университет, г. Самара,  
Российская Федерация

**Цель.** На основе МРТ-исследования построить персонафицированную предоперационную 3D-модель анатомических образований шеи для облегчения поиска и удаления аденом околощитовидных желез у пациентов с третичным гиперпаратиреозом (ТГПТ).

**Материал и методы.** Предоперационное 3D-моделирование выполнено 7 пациентам с третичным гиперпаратиреозом. Все пациенты находились на программном гемодиализе в связи с терминальной стадией хронической почечной недостаточности. Для получения персонафицированной 3D-модели использовали результаты МРТ и специальное программное обеспечение. Данные в формате DICOM загружали в программное обеспечение, при этом регистрировали и приводили отдельные серии МРТ- исследований к единой системе координат, выполняли сегментацию – выделение на изображении границ анатомических структур – и строили трехмерные полигональные модели анатомических структур передней поверхности шеи и участков патологии – аденом околощитовидных желез.

**Результаты.** При использовании предоперационного 3D-моделирования полученные модели анатомических образований шеи позволили быстро, с наименьшим временным промежутком обнаружить и удалить аденомы ОЩЖ. При этом время операции в среднем составило  $60 \pm 15$  минут ( $M \pm \sigma$ ). Эффективность вмешательства подтверждали результаты лабораторных исследований и клиническая картина в целом. В послеоперационном периоде, на следующие сутки после операции, медиана ионизированного кальция уменьшилась до 0,88 ммоль/л (уменьшение на 0,32 ммоль/л или на 26,7%,  $p=0,00001$ ), медиана паратгормона – до 98,2 pg/ml (снижение на 2048,8 pg/ml – 95,4%,  $p=0,00001$ ); медиана фосфора – до 1,28 ммоль/л (снизились на 0,33 ммоль/л – 20,5%). Клинически у пациентов были купированы боли в костях и суставах.

**Заключение.** Предложенный метод является достоверным способом дооперационной топической диагностики патологически измененных околощитовидных желез. При его использовании уменьшается время операции, снижается необходимость травматичной и затратной по времени эксплорации шеи, необходимой для поиска не менее 4 аденом околощитовидных желез, и, соответственно, вероятность развития послеоперационных осложнений. Данный метод может служить объективным критерием визуализации аденом околощитовидных желез во время операции и эффективным критерием адекватности проведенного лечения.

*Ключевые слова:* 3D-моделирование, магнитно-резонансная томография, третичный гиперпаратиреоз, диагностика, хирургическое лечение

**Objective.** To design a patient-specific preoperational 3D model of the neck anatomical formations based on MRI study to facilitate the search and removal of parathyroid adenoma in patients with tertiary hyperparathyroidism (THPT).

**Methods.** Preoperative 3D modeling was done for 7 patients with tertiary hyperparathyroidism. All patients were on the program renal dialysis because of the terminal stage of chronic renal insufficiency. For obtaining the personified 3D model the results MRI and special software were used. Data in DICOM format were loaded in software; at the same time, individual series of MRI studies were recorded and brought to a single coordinate system, they were segmented – the selection on the images of borders of anatomical structures, and three-dimensional polygonal models of the anatomical structures of the anterior surface of the neck and pathological sites – adenomas of the parathyroid glands were designed.

**Results.** With the use of preoperation 3D modeling the obtained models of the anatomical formations of neck allowed revealing and removing parathyroid adenomas rapidly, with the smallest time interval. The operation time on the average comprised  $60 \pm 15$  the minutes ( $M \pm \sigma$ ). The operation effectiveness was proved by the results of laboratory investigations and clinical picture on the whole. In the postoperative period, during the following day after operation the median of ionized calcium decreased to 0.88 mmol/L (decrease by 0.32 mmol/L or on 26.7%, with  $r=0.00001$ ), the median of parathyroid hormone – to 98.2 pg/ml (decrease on 2048.8 pg/ml – 95.4% with  $r=0.00001$ ); the median of phosphorus – to 1.28 mmol/L (it was lowered on 0.33 mmol/L – 20.5%). The pains in the bones and the joints were clinically stopped in patients.

**Conclusions.** The suggested method is a reliable technique of the preoperative topical diagnosis of the pathological changes of the parathyroid glands. Its use leads to the decrease of operation time and reduces the need

for traumatic and time-consuming neck exploration, necessary to find 4 and more adenomas), thus reducing the risk of post-surgery complications. The given method can be used for objective visualization of parathyroid adenomas during the operation and serve as the effectiveness criterion of surgical treatment adequacy.

*Keywords: 3D model, magnetic resonance imaging, tertiary hyperparathyroidism, diagnostics, surgical treatment*

**Novosti Khirurgii. 2019 May-Jun; Vol 27 (3): 307-317**

The articles published under CC BY NC-ND license

**Using Preoperating 3D-modeling in Diagnostics and Surgical Treatment of Tertiary Hyperparathyroidism**

**I.V. Makarov, V.V. Zhiron, A.V. Kolsanov, R.A. Galkin, A.Yu. Sidorov, D.O. Khokhlova**



### Научная новизна статьи

Впервые предложена персонафицированная трехмерная модель (3D-моделирование) для топической диагностики аденом околощитовидных желез у пациентов с третичным гиперпаратиреозом на основе магнитно-резонансной томографии шеи, позволяющая точно указать место расположения пораженных околощитовидных желез на дооперационном этапе, оптимизировать выполнение оперативного вмешательства, быстро найти и удалить аденомы во время операции. Применение предоперационного 3D-моделирования сокращает время вмешательства и вероятность развития послеоперационных осложнений.

### What this paper adds

The personified three-dimensional model (3D-simulation) for topical diagnostics of the adenomas of near-thyroid glands in patients with tertiary hyperparathyroidism has been suggested for the first time, made on the basis of the magnetic-resonance tomography of the neck, which makes it possible to indicate accurately the location of the affected parathyroid glands in the preoperation stage, to optimize the implementation of the operation, to find and to remove adenomas rapidly during the operation. The application of preoperation 3D-simulation reduces the time of the operation and the probability of the development of postoperative complications.

### Введение

Гиперпаратиреоз, развивающийся у пациентов с хронической болезнью почек (ХБП) 5D стадии, находящихся на программном гемодиализе в связи с терминальной стадией хронической почечной недостаточности, остается актуальной проблемой [1, 2]. Выраженный гиперпаратиреоз, наблюдаемый при повышении паратгормона (ПТГ) до 600 пг/мл и более, отмечается в 28% случаев, тяжелым принято считать гиперпаратиреоз при повышении ПТГ до 800 пг/мл [3].

При этом в ответ на выведение кальция из организма и снижение его уровня в плазме крови развивается сначала вторичный гиперпаратиреоз (ВГПТ), характеризующийся гиперплазией околощитовидных желез (ОЩЖ) [4]. В дальнейшем, когда в ОЩЖ возникают характерные морфологические изменения с образованием четкой, плотной капсулы и очагами кальцификации, формируется их автономия с независимым от уровня кальция и фосфора в крови и повышенным в десятки раз выбросом паратгормона – третичный гиперпаратиреоз (ТГПТ) [1, 5, 6].

Трактовка понятия третичного гиперпаратиреоза, по данным разных авторов, несколько отличается. И.И. Дедов и Г.А. Мельниченко подразумевают под этим развитие аденом ОЩЖ с их автономией при продолжительно существующем вторичном гиперпаратиреозе [4], с чем мы абсолютно согласны. F.F. Magnabosco et al. считают, что третичный гиперпаратиреоз – это гиперпаратиреоз, сохраняющийся после пересадки почки [7].

Следует отметить, что единственным методом лечения ТГПТ является хирургический – тотальное или субтотальное удаление всех патологически измененных ОЩЖ. При этом на первое место становится факт обнаружения их во время оперативного вмешательства. Это связано с особенностями эмбриологической миграции и анатомического расположения ОЩЖ (эмбриональной эктопии). При этом верхние ОЩЖ, происходящие из дорзальной части четвертых жаберных карманов, имеют более короткий путь миграции и в 85% случаев располагаются на пространстве диаметром 2 см, примыкающем к задней поверхности верхней половины доли щитовидной железы (ЩЖ) и имеющем центром точку на 1 см выше пересечения возвратного нерва и нижней щитовидной артерии. Нижние ОЩЖ имеют гораздо большее пространство своего нормального расположения: в 61% случаев – на уровне нижних полюсов ЩЖ, задней, боковой и даже передней поверхности, в 26% случаев – в толще тиреотимической связки или верхних полюсов тимуса, в 7% – на уровне средней трети задней поверхности ЩЖ и т.п. Таким образом, сами околощитовидные железы могут иметь самое разнообразное положение: позади щитовидной железы, за пищеводом и/или трахеей, загрудинно, около а. carotis communis, в полостях средостения, в самой щитовидной железе [3, 6].

Исходя из вышеизложенного становится понятно, почему очень важно еще на догоспитальном этапе определить точную локализацию аденом ОЩЖ. При этом пациента не нужно будет подвергать длительной и травматичной эксплорации шеи во время операции в поис-

ках не менее 4 измененных ОЩЖ, что само по себе влечет за собой повышенный риск послеоперационных осложнений в виде парезов и параличей возвратных гортанных нервов, кровотечений и образования гематом.

В настоящее время все существующие методы выявления на дооперационном этапе пораженных ОЩЖ (ультразвуковое исследование (УЗИ), скintiография, компьютерная томография (КТ), магнитно-резонансная томография (МРТ), позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) и др.) не в состоянии указать их точное расположение [8].

УЗИ — один из самых распространенных и дешевых методов исследования. Но информативность метода при обследовании ОЩЖ невелика, зачастую результат осмотра напрямую зависит от возможности аппарата, квалификации и опыта специалиста. Отсюда и большие колебания чувствительности метода (36-90%). При размерах ОЩЖ в 5 мм чувствительность метода падает до 30%. Только при наличии подтвержденного диагноза и высококлассного специалиста информативность данного метода несколько увеличится [9].

По данным литературы, принято считать скintiографию ( $^{99m}\text{Tc-MIBI}$ ;  $^{99m}\text{Tc-sestamibi}$ ) одним из самых информативных способов инструментальной визуализации аденом при гиперпаратиреозе. Однако чувствительность метода колеблется от 50 до 90%, что связано с активностью пораженных ОЩЖ: при 2 активных ОЩЖ ложноотрицательный результат отмечается в 27% случаев, при патологическом изменении всех 4-х ОЩЖ — в 55% [10, 11]. Как правило, при скintiографии выявляется одна, наиболее активная железа. При этом ее локализация указывается весьма приблизительно, т.е. данный метод указывает на возможное наличие аденом, но не раскрывает их точного расположения на шее.

Однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ) — это сравнительно новый, но не дешевый способ получения изображения органов и частей тела при сканировании организма человека, при котором можно получить множество изображений (срезов). Безусловно метод эффективен. Но при его использовании имеет место достаточно значительная лучевая нагрузка, а для пациентов с вторичным и третичным гиперпаратиреозом это является противопоказанием. Кроме того, дороговизна метода ограничивает его широкое применение в медицинской практике [12].

При использовании позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) в дооперационной диагностике ТГПТ возникают вопросы при рас-

шифровке полученных результатов, поскольку фтордезоксиглюкоза поглощается и щитовидной железой. ПЭТ используется при отсутствии достоверных результатов, полученных другими методами исследования и (или) при возврате заболевания [13, 14].

Компьютерная томография (КТ) и особенно мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) — достаточно эффективные методы, с помощью которых можно получить изображение и их расположения при «классической» и атипичной (загрудинной) локализации. Достоверность обследования зависит от разрешающей способности аппарата и опыта врача-лучевого диагноста. Чувствительность колеблется от 46 до 87%. Сравнительно низкая доступность, дороговизна методов и значимая лучевая нагрузка при получении более мелкого «шага» снимков ограничивают их широкое применение [11, 12, 15].

Метод МРТ — идеальный вариант для сканирования мягких тканей. Метод можно применять в разнообразных режимах, в том числе с контрастированием и без, с «жиропоглощением» или без. По нашим данным, использование МРТ в диагностике аденом ОЩЖ является наиболее предпочтительным. Чувствительность метода достигает 90%. Из недостатков метода можно отметить следующие: дороговизна, сложность возможной расшифровки полученных данных [5, 9].

Подводя итог вышеизложенному, можно с большой вероятностью утверждать, что ни один из известных способов и методов инструментальной диагностики не позволяет установить точное месторасположение аденом ОЩЖ на до- и особенно интраоперационном этапе. Нами для синтопической и голотопической визуализации аденом ОЩЖ при третичном гиперпаратиреозе предложено предоперационное 3D-моделирование и виртуальная визуализация пораженных ОЩЖ, основанная на МРТ-исследовании.

**Цель.** На основе МРТ-исследования построить персонифицированную предоперационную 3D-модель анатомических образований шеи для облегчения поиска и удаления аденом околощитовидных желез у пациентов с третичным гиперпаратиреозом.

## Материал и методы

Для получения персонифицированной трехмерной модели (3D-моделирование) использовали результаты магнитно-резонансной томографии, записанные на компьютерный диск и специальное программное обеспече-

ние (приоритетная справка №2018122324 от 18.06.2018 г.). Метод МРТ был избран еще и потому, что в течение 5 лет нами были получены наиболее достоверные результаты топической предоперационной диагностики аденом ОЩЖ. Чувствительность метода достигала 86,6% [5]. При создании трехмерной модели выполняли ручную регистрацию серий МРТ, сделанных в режимах T1 и T2 в ортогональных проекциях: аксиальной, корональной, сагиттальной. Одну из серий принимали за основную. Каждая из оставшихся серий последовательно отображалась в полупрозрачном режиме и в контрастной цветовой гамме поверх основной серии, далее она перемещалась до совмещения анатомических ориентиров с основной серией. Сегментацию поверхности тела выполняли с использованием автоматического алгоритма, при этом сегментацию внутренних анатомических структур, из-за их малого размера и низкой детализации серий МРТ, выполняли по ключевым срезам, обеспечивающим видимость структуры хотя бы на одной из серий, хотя бы в одном режиме, хотя бы на одной из ортогональных проекций. Для реконструкции формы анатомических объектов между видимыми срезами использовали алгоритмы двухмерной и трехмерной интерполяции. Для каждой модели выбирали цвет и степень прозрачности, обеспечивающие для хирурга информативность трехмерной модели в целом. Таким образом, в режиме предоперационного планирования на основе загруженных данных с помощью автоматизированных программных инструментов строили трехмерные модели (3D-модели) анатомических структур области передней поверхности шеи и участков патологии – аденом околощитовидных желез, что позволяло во время операции быстро их находить и удалять.

Всего с 2012 года по сентябрь 2018 года с третичным гиперпаратиреозом было прооперировано 52 человека, из них 3D-моделирование выполнено 7 пациентам. НУЗ «Дорожная клиническая больница на ст. Самара» ОАО «Российские Железные Дороги», в хирургическом отделении которого были оперированы пациенты, располагает диализным отделением, что значительно облегчает лечение пациентов, поскольку позволяет не прекращать плановые сеансы гемодиализа. Как правило, в день госпитализации в хирургическое отделение пациенты проходили сеанс гемодиализа, на следующий день их оперировали, а в первые сутки после операции пациенты вновь проходили плановый сеанс гемодиализа.

Оперативные вмешательства выполнялись под общим обезболиванием, предпочтение от-

давалось газовому наркозу с использованием препарата «Севоран» («Севофлуран»). Техника операции заключалась в стандартном разрезе на шее по Кохеру, длиной 5–8 см, с разделением мышц передней поверхности шеи по средней линии, осмотре и ревизии боковых поверхностей ЩЖ, согласно выявленным с помощью дооперационного 3D-моделирования местам расположения аденом ОЩЖ. Аденомы выделялись прецизионно, под визуальным контролем возвратных гортанных нервов. Мы придерживаемся тактики удаления всех выявленных патологически измененных ОЩЖ. Исследований по выявлению достоверных преимуществ субтотальных резекций измененных ОЩЖ, паратиреоидэктомий с и без аутотрансплатации одной из удаленных ОЩЖ, с диссекцией шеи или без нее, нами не найдено. Показаниями к операции служили повышение ПТГ до 800 пг/мл и более, клинические проявления заболевания и инструментально подтвержденное наличие измененных ОЩЖ.

Из 7 пациентов, которым выполнено 3D-моделирование на основе МРТ-исследования, мужчин было 4, женщин – 3; в возрасте от 54 до 77 лет (средний возраст  $63,5 \pm 10,6$  года ( $M \pm \sigma$ )). Во всех случаях это были пациенты с ХБП 5D стадии. В среднем пациенты страдали заболеваниями почек  $10,7 \pm 2,4$  года, получали программный гемодиализ чуть меньше –  $6,82 \pm 1,2$  года ( $M \pm \sigma$ ).

Клинически пациентов беспокоил болевой синдром с локализацией болей в крупных трубчатых костях, тазобедренных и коленных суставах, поясничном отделе позвоночника. У пациентов отмечалась походка «морняка», («утиная» походка), общая слабость, разлитые мышечные боли, кожный зуд, когнитивные расстройства (снижение мыслительной деятельности и памяти, апатия, депрессивные состояния, спутанность сознания разной степени). У двоих пациентов в анамнезе были переломы шейки бедра и ключицы.

Обследование, помимо физикального осмотра и общеклинических исследований, включало ЭХО-кардиографию для оценки состояния сердечной деятельности, УЗИ брюшной полости и ФГДС – для исключения патологии брюшной полости, эрозивного и язвенного поражения желудка и ДПК, УЗИ вен нижних конечностей – для возможной профилактики венозных тромбозов при выявлении патологии вен. Обязательными были исследования общего и ионизированного кальция, фосфора, паратгормона, щелочной фосфатазы. Выполняли УЗИ щитовидной и околощитовидных желез; скинтиграфию околощитовидных желез, МРТ

шей (щитовидной и околощитовидных желез); денситометрию скелета с оценкой минеральной плотности костной ткани области поясничного отдела позвоночника, тазобедренных суставов и верхней трети бедренных костей, костей предплечья.

### Статистика

В зависимости от характера распределения применялись параметрические и непараметрические статистические методы исследования. Рассчитывались среднее арифметическое (M), стандартное отклонение ( $\sigma$ ), медиана (Me), нижний и верхний квартили (25%-й квартиль; 75%-й квартиль). Достоверность различий в связанных выборках определялась с использованием критерия Вилкоксона.

Результаты были значимыми при вероятности случайности «р» меньше 5%. Это при малых выборках является вполне допустимым для оценки надежности результатов статистического исследования.

### Результаты

У 7 пациентов, которым выполняли предоперационное 3D-моделирование на основе МРТ-исследования, до операции медиана ионизированного кальция в сыворотке крови равнялась 1,2 ммоль/л, медиана паратгормона – 2147 pg/ml, медиана фосфора – 1,61 ммоль/л. В послеоперационном периоде, на следующие сутки после операции, медиана ионизированного кальция уменьшилась до 0,88 ммоль/л (уменьшение на 0,32 ммоль/л или на 26,7%,  $p=0,00001$ ), медиана паратгормона – до 98,2 pg/ml (снижение на 2048,8 pg/ml – 95,4%,  $p=0,00001$ ); медиана фосфора – до 1,28 ммоль/л

(снизилась на 0,33 ммоль/л – 20,5%) (таблица 1). Клинически уже на следующий день после операции пациенты отмечали исчезновение болей в костях и суставах, появление «твердой» походки, возможность самостоятельного уверенного подъема по лестнице на 2-4-й этажи, отказ от использования трости.

После операции, для купирования явного гипопаратиреоза, пациентам назначали внутривенно капельно растворы глюконата или хлорида кальция по 30 мл 1-2 раза в день, в дальнейшем пациенты принимали препараты кальция и  $\alpha$ D3 ТЕВА по 1-2 мкг в сутки под контролем ионизированного кальция и паратгормона. Доза препаратов зависела также и от клинических проявлений гипокальциемии. Как известно, полноценной заместительной терапии гипопаратиреоза не существует. Однако у пациентов не отмечали развитие адинамической костной болезни. В индивидуальном порядке у всех пациентов удалось купировать проявления послеоперационного гипопаратиреоза.

В сравнительном аспекте у 45 пациентов, которым не было выполнено 3D-моделирование, значения основных биохимических показателей были следующими: медиана ионизированного кальция снизилась до 0,93 ммоль/л (уменьшение на 0,37 ммоль/л – 28,5%,  $p=0,00001$ ); медиана паратгормона – до 302,3 pg/ml (на 1099,2 pg/ml – 78,4%,  $p=0,00001$ ); медиана фосфора – до 1,25 ммоль/л (снизилась на 0,5 ммоль/л – 28,6%) (таблица 2). Возраст пациентов от 28 до 78 лет (средний возраст  $52,8 \pm 11,7$  года) ( $M \pm \sigma$ ).

Таким образом, значение медианы ПТГ – основного показателя эффективности проведенного оперативного вмешательства – после операции снизилось более значи-

Таблица 1

#### Исследуемые биохимические показатели пациентов с предоперационным 3D-моделированием, Me (25%-75% квартили)

Показатель	До операции	После операции (1 сутки)	Статистическая значимость отличий
Ионизированный кальций (ммоль/л)	1,2 (1,1-1,65)	0,88 (0,78-1,04)	$p=0,00001$
ПТГ (pg/ml)	2147 (875,5-2403)	98,2 (35,9-597,4)	$p=0,00001$
Фосфор (ммоль/л)	1,61 (1,4-1,9)	1,28 (1,06-1,5)	$p=0,00001$

Таблица 2

#### Исследуемые биохимические показатели пациентов без 3D-моделирования до и после операции, Me (25%-75% квартили)

Показатель	До операции	После операции (1 сутки)	Статистическая значимость отличий
Ионизированный кальций (ммоль/л)	1,3 (1,07-1,98)	0,93 (0,78-1,04)	$p=0,00001$
ПТГ (pg/ml)	1401,5 (690,0-2952,3)	302,3 (56,3-597,4)	$p=0,00001$
Фосфор (ммоль/л)	1,75 (1,38-2,1)	1,25 (1,05-1,5)	$p=0,00001$

Примечание: Me – медиана, p – различия между показателями до и после лечения.

тельно у пациентов с предоперационным 3D-моделированием (на 95,4%), чем у пациентов общей группы (на 78,4%) (табл. 1, 2), что может косвенно свидетельствовать о повышении эффективности проведенного оперативного вмешательства.

Выполнение оперативного вмешательства занимало от 40 до 150 минут ( $90 \pm 15$  минут) ( $M \pm \sigma$ ). В основном, время, затраченное на проведение операций, было посвящено поиску и ревизии зон возможных локализаций не менее 4 аденом ОЩЖ. При использовании предоперационного 3D-моделирования полученные модели анатомических образований шеи позволили быстро, с наименьшим временным промежутком, обнаружить и удалить аденомы ОЩЖ. При этом время операции в среднем составило  $60 \pm 15$  минут, что на  $30 \pm 15$  минут меньше ( $M \pm \sigma$ ), чем у пациентов без предоперационного 3D-моделирования.

При патоморфологическом исследовании были получены следующие данные: светлоклеточные аденомы встречались в 35,3% случаев, в 26,9% по своему строению относились к онкоцитомам; аденомы солидно-клеточного строения наблюдали в 18,6%, в 7,2% — тубулярные аденомы и в 12% — аденомы из плотных паратиреоцитов.

В качестве примера приводим 2 клинических наблюдения хирургического лечения пациентов с третичным гиперпаратиреозом, которым было выполнено предоперационное 3D-моделирование.

**Пример 1.** Пациентка №1, 51 год, поступила в х/о НУЗ «ДКБ на ст. Самара» ОАО «РЖД» 18.01.2017 с диагнозом: «Третичный гиперпаратиреоз. Аденомы околощитовидных желез. Хронический пиелонефрит с исходом в нефросклероз. ХБП 5D ст. Симптоматическая артериальная гипертензия».

При поступлении предъявляла жалобы на боли в мышцах и костях нижних и верхних конечностей, тазобедренных и коленных суставах, поясничном отделе позвоночника, из-за которых вынуждена постоянно принимать анальгетики, при этом испытывала затруднение при ходьбе, движении и выполнении обычных повседневных обязанностей; общую слабость, утомляемость, нарушение когнитивных функций. На программном гемодиализе находилась с 2014 года. Уровень паратормона при поступлении — 2012 пг/мл, ионизированный кальций — 1,15 ммоль/л, фосфор — 2,35 ммоль/л. При денситометрии скелета МПКТ снижена до уровня остеопороза в области поясничного отдела позвоночника, шейки бедренной кости справа и слева, костей

предплечья. При МРТ на серии томограмм мягких тканей шеи, выполненных по стандартным и специальным программам, справа были выявлены 3 образования: в проекции средней трети правой доли ЩЖ, ориентировочно на уровне С7-Th1, между задним контуром ЩЖ, пищеводом и телом позвонка размерами  $7 \times 11 \times 11$  мм; на уровне нижнего полюса ЩЖ, Th1-Th2 и спереди (параллельно трахее) — образование размерами  $13 \times 9 \times 14$  мм, в капсуле, неомогенного строения; на уровне Th1, латерально, в проекции сосудисто-нервного пучка образование размерами  $8 \times 9,5 \times 8,5$  мм. Слева были обнаружены 2 образования: по заднему контуру ЩЖ, интимно примыкая к доли, на уровне С6 образование размерами  $9 \times 8 \times 12$  мм; на уровне нижнего полюса ЩЖ, примыкая к доле, на уровне Th1-Th2 образование размерами  $12 \times 8 \times 15,5$  мм. Щитовидная железа без особенностей.

На основе МРТ-исследования выполнено 3D-моделирование анатомических образований шеи (рис. 1). 19.01.2017 с учетом индивидуальной анатомии пациента на основе 3D-моделирования выполнена операция: тотальная паратиреоидэктомия. ПТГ в 1-е сутки после операции — 384,7 пг/мл, ионизированный кальций — 0,72 ммоль/л, фосфор — 0,91 ммоль/л. Время операции — 70 минут. Пациентка выписана на 7-е сутки после операции в удовлетворительном состоянии.

**Пример 2.** Пациент №2, 55 лет, поступил в х/о НУЗ «ДКБ на ст. Самара» ОАО «РЖД» 15.01.2018 г. с диагнозом: «Третичный гиперпаратиреоз. Аденомы околощитовидных желез. Хронический гломерулонефрит с исходом в нефросклероз. ХБП 5D ст. Симптоматическая артериальная гипертензия». Заболеванием почек страдает с 2008 года, с этого же года начато лечение методом программного гемодиализа. При поступлении предъявляла жалобы на боли в мышцах, костях, суставах, позвоночнике, общую слабость, утомляемость, нарушение когнитивных функций. ПТГ при поступлении — 1807,6 пг/мл, ионизированный кальций — 1,13 ммоль/л, фосфор — 1,93 ммоль/л. Выполнено МРТ шеи (рис. 2) и предоперационное 3D-моделирование (рис. 3). 16.01.2018 выполнена операция — тотальная паратиреоидэктомия (удалены 4 аденомы ОЩЖ). Время операции — 60 минут. ПТГ на 1-е сутки после операции — 86,4 пг/мл, ионизированный кальций — 0,98 ммоль/л, фосфор — 1,38 ммоль/л. Послеоперационный период протекал без осложнений. Швы сняты на 6-е сутки, пациент выписан в удовлетворительном состоянии.

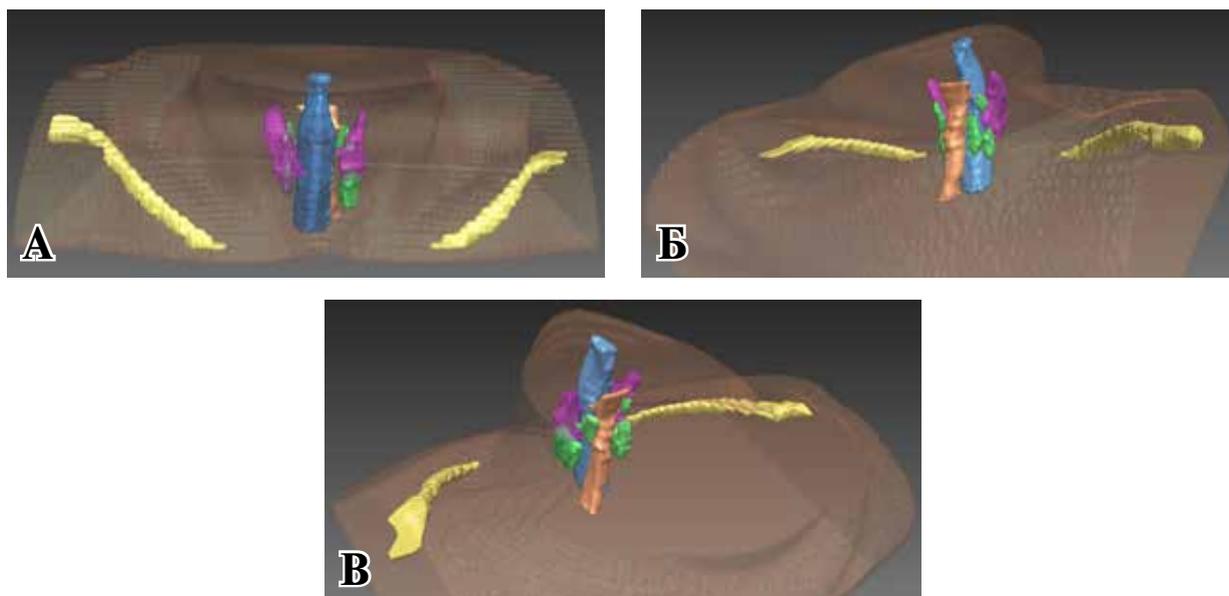


Рис. 1. 3D-моделирование на основе МРТ, зеленым цветом обозначены аденомы ОЩЖ, синим – трахея, сиреневым – щитовидная железа, коричневым – пищевод.

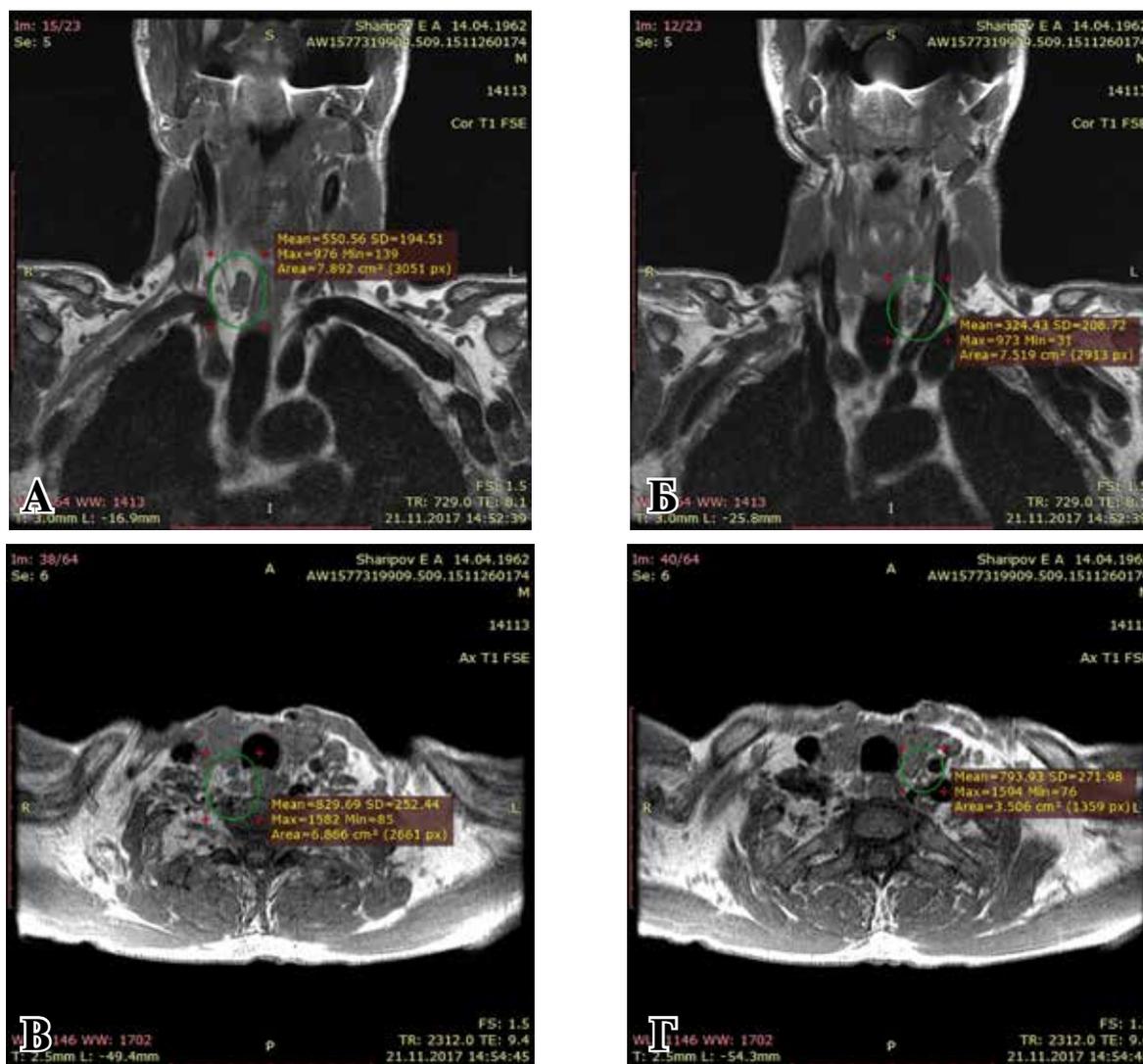


Рис. 2. МРТ шеи в разных проекциях. Зеленым маркером отмечены аденомы ОЩЖ.

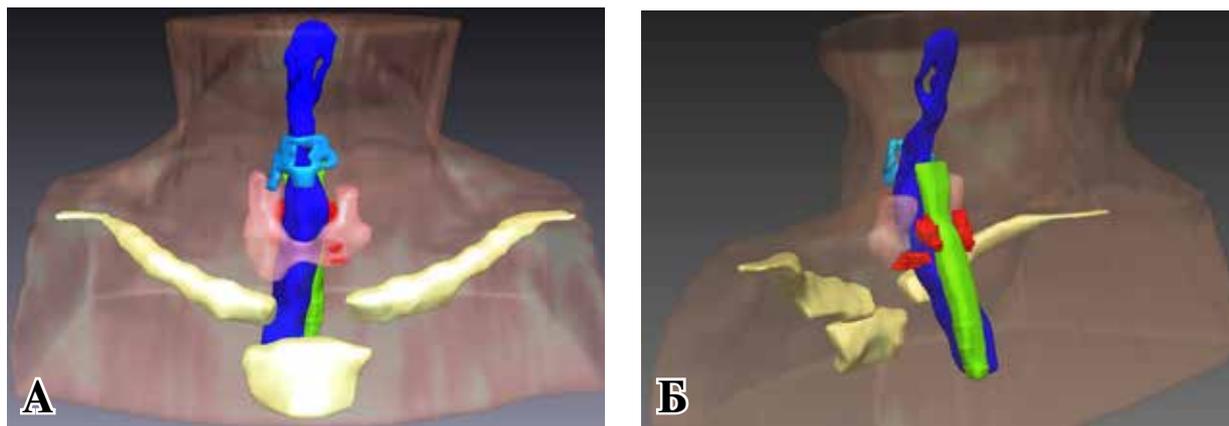


Рис. 3. Предоперационное 3D-моделирование анатомических образований шеи на основе МРТ. Красным цветом обозначены аденомы ОЩЖ, синим – трахея, светло-сиреневым – ЩЖ, зеленым – пищевод.

### Обсуждение

Хирургическое лечение пациентов с трехичным гиперпаратиреозом является одной из актуальных проблем нефрологии и эндокринной хирургии. По данным Российского диализного общества, 28% пациентов имеют выраженный гиперпаратиреоз, при этом единственным радикальным методом лечения является именно хирургический. Количество пациентов, нуждающихся в заместительной почечной терапии, не имеет тенденции к снижению, а значит вопрос о хирургической коррекции проявлений гиперпаратиреоза будет долгое время одним из острых и злободневных. Принципиальных разногласий в показаниях к удалению патологически измененных ОЩЖ нет [1, 2, 3]. Радикальность и, таким образом, эффективность оперативного вмешательства при ТГПТ зависит от удаления всех патологически измененных ОЩЖ. Расположение аденом на шее сопряжено с большим разнообразием (позади и в ткани ЩЖ, за трахеей, за пищеводом, в области сонных артерий, в тимусе и в переднем средостении). Залогом успеха операции является их верификация на до- и интраоперационном этапе.

В настоящее время ни один из известных методов диагностики не позволяет с вероятностью 100% визуализировать все патологически измененные ОЩЖ. Нами для повышения эффективности дооперационной синтопической и голотопической визуализации аденом ОЩЖ при ТГПТ впервые предложено предоперационное 3D-моделирование и виртуальная визуализация пораженных ОЩЖ, основанная на МРТ-исследовании (приоритетная справка №2018122324 от 18.06.2018). Метод МРТ был избран как наиболее эффективный способ инструментальной диагностики пораженных

ОЩЖ. Чувствительность метода, по нашим данным, достигает 86,6% [5]. На основе МРТ создавали персонафицированную трехмерную 3D-модель анатомических образований шеи с расположением аденом ОЩЖ, что позволяло быстро и точно определять их реальное местоположение во время оперативного вмешательства.

Следует отметить, что данная методика является уникальной и была впервые предложена и создана в Самарском государственном медицинском университете. Эта методика использована для верификации патологически измененных ОЩЖ впервые данным коллективом авторов.

Безусловно, исследования в этой области будут продолжены, тем не менее, можно констатировать, что предлагаемый способ топической диагностики аденом ОЩЖ на основе МРТ-исследования позволяет построить персонафицированную предоперационную 3D-модель анатомических образований шеи, что значительно облегчает поиск и удаление измененных ОЩЖ.

### Заключение

При применении предоперационного 3D-моделирования при хирургическом лечении ТГПТ уменьшается время поиска не менее 4 аденом ОЩЖ, снижается необходимость травматичной и затратной по времени эксплорации шеи и, соответственно, вероятность развития послеоперационных осложнений.

Данный способ может использоваться в качестве достоверного метода дооперационной визуализации аденом ОЩЖ, может служить ориентиром при их поиске во время операции, а после операции – критерием эффективности ее проведения.

### Финансирование

Работа выполнялась в соответствии с планом научных исследований Самарского государственного медицинского университета. Финансирование проведения данной работы какими-либо организациями не осуществлялось.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют, что конфликт интересов отсутствует.

### Этические аспекты

#### Одобрение комитета по этике

Исследование одобрено этическим комитетом Самарского государственного медицинского университета.

### Информация о согласии пациентов

Пациенты дали согласие на публикацию сообщений и размещение в интернете информации о характере их заболеваний, проведенном лечении и его результатах с научными и образовательными целями.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ермоленко ВМ, Волгина ГВ, Добронравов ВА, Рожинская ЛЯ, Смирнов АВ, Томилина НА, Шостка ГД, Анашкин ВА, Андрусов АМ, Волков ММ, Герасимчук РП, Земченков АЮ, Дюбанова ГА, Строков АГ, Шило ВЮ. Национальные рекомендации по минеральным и костным нарушениям при хронической болезни почек. *Нефрология и Диализ*. 2011;13(1):33-51. <http://journal.nephro.ru/index.php?r=journal/issueArchive>
2. Kestenbaum B, Seliger SL, Gillen DL, Wasse H, Young B, Sherrard DJ, Weiss NS, Stehman-Breen CO. Parathyroidectomy rates among United States dialysis patients: 1990-1999. *Kidney Int*. 2004 Jan;65(1):282-88. doi: 10.1111/j.1523-1755.2004.00368.x
3. Бикбов БТ, Томилина НА. Заместительная терапия больных с хронической почечной недостаточностью в Российской Федерации в 1998–2011 гг. (отчет по данным Российского регистра заместительной почечной терапии. Ч. 1). *Нефрология и Диализ*. 2014;16(1):11-27. <http://nephro.ru/content/files/11-127.pdf>
4. Дедов ИИ, Мельниченко ГА. Эндокринология: нац рук. Краткое изд. Москва, РФ: ГЭОТАР-Медиа; 2013. 752 с. [https://panacea21.files.wordpress.com/2017/08/dedov\\_i\\_i\\_melnichenko\\_g\\_a\\_red\\_endokrinologiya-2.pdf](https://panacea21.files.wordpress.com/2017/08/dedov_i_i_melnichenko_g_a_red_endokrinologiya-2.pdf)
5. Макаров ИВ, Галкин РА, Лукашова АВ, Копсов ИС, Хохлова ДО. Хирургическое лечение гиперпаратиреоза у больных с хронической болезнью почек, находящихся на программном гемодиализе. *Тавр Мед-Биол Вестн*. 2017;20(3):177-83. <http://ma.cfuv.ru/docs/235726/T.20%20№3%202017.pdf>
6. Черенько СМ. Первичный гиперпаратиреоз:

основы патогенеза, диагностики и хирургического лечения. Киев, Украина; 2011. 147 с.. <http://www.booksmed.com/hirurgiya/2046-pervichnyj-giperparatireoz-osnovy-patogeneza-diagnostiki-i-xirurgicheskogo-lecheniya-cherenko-sm.html>

7. Magnabosco FF, Tavares MR, Montenegro FL. Surgical treatment of secondary hyperparathyroidism: a systematic review of the literature. *Arq Bras Endocrinol Metabol*. 2014 Jul;58(5):562-71. doi: 10.1590/0004-2730000003372 [Article in Portuguese]

8. Балаболкин МИ, Клебанова ЕМ, Креминская ВМ. Дифференциальная диагностика и лечение эндокринных заболеваний. Москва, РФ, 2002. 752 с. <https://www.ozon.ru/context/detail/id/4677387/>

9. Whitson BA, Brodie TA. Preoperative ultrasound and nuclear medicine studies improve the accuracy in localization of adenoma in hyperparathyroidism. *Surg Today*. 2008;38(3):222-26. doi: 10.1007/s00595-007-3612-7

10. Civelek AC, Ozalp E, Donovan P, Udelsman R. Prospective evaluation of delayed technetium-99m sestamibi SPECT scintigraphy for preoperative localization of primary hyperparathyroidism. *Surgery*. 2002 Feb;131(2):149-57. <https://doi.org/10.1067/msy.2002.119817>

11. Johnson NA, Tublin ME, Ogilvie JB. Parathyroid imaging: technique and role in the preoperative evaluation of primary hyperparathyroidism. *AJR Am J Roentgenol*. 2007 Jun;188(6):1706-15. doi: 10.2214/AJR.06.0938

12. Takagi H, Tominaga Y, Uchida K, Yamada N, Kawai M, Kano T, Morimoto T. Subtotal versus total parathyroidectomy with forearm autograft for secondary hyperparathyroidism in chronic renal failure. *Ann Surg*. 1984 Jul;200(1):18-23. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1250386/>

13. Bilezikian JP, Brandi ML, Udelsman R, Marcocci C, Eastell R, Silverberg SJ, Potts JT Jr. Guidelines for the management of asymptomatic primary hyperparathyroidism: summary statement from the Fourth International Workshop. *J Clin Endocrinol Metab*. 2014 Oct;335-39. doi: 10.1210/jc.2008-1763

14. Bilezikian JP, Brandi ML, Eastell R, Silverberg SJ, Udelsman R, Marcocci C, Potts JT Jr. Guidelines for the management of asymptomatic primary hyperparathyroidism: summary statement from the Fourth International Workshop. *J Clin Endocrinol Metab*. 2009 Feb;99(10):3561-69. doi: 10.1210/jc.2014-1413

15. Kasai ET, da Silva JW, Mandarim de Lacerda CA, Boasquevisque E. Parathyroid glands: combination of sestamibi-(99m)Tc scintigraphy and ultrasonography for demonstration of hyperplastic parathyroid glands. *Rev Esp Med Nucl*. 2008 Jan-Feb;27(1):8-12. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18208776>

### REFERENCES

1. Ermolenko VM, Volgina GV, Dobronravov VA, Rozhinskaia LI, Smirnov AV, Tomilina NA, Shostka GD, Anashkin VA, Andrushev AM, Volkov MM, Gerasimchuk RP, Zemchenkov AL, Diubanova GA, Strokov AG, Shilo VI. Natsional'nye rekomendatsii po mineral'nym i kostnym narusheniiam pri khronicheskoi bolezni pochek. *Nefrologia i Dializ*. 2011;13(1):33-51. <http://journal.nephro.ru/index.php?r=journal/issueArchive> (in Russ.)
2. Kestenbaum B, Seliger SL, Gillen DL, Wasse H, Young B, Sherrard DJ, Weiss NS, Stehman-Breen CO.

- Parathyroidectomy rates among United States dialysis patients: 1990-1999. *Kidney Int.* 2004 Jan;65(1):282-88. doi: 10.1111/j.1523-1755.2004.00368.x
3. Bikbov BT, Tomilina NA. Renal replacement therapy for ESRD patients in Russian Federation (1998-2011). Report of Russian RRT Registry. Pt 1. *Nefrologiia i Dializ.* 2014;16(1):11-27. <http://nephro.ru/content/files/11-127.pdf> (in Russ.)
4. Dedov II, Mel'nichenko GA. *Endokrinologiya: nats ruk. Kratkoe izd.* Moscow, RF: GEOTAR-Media; 2013. 752 p. [https://panacea21.files.wordpress.com/2017/08/dedov\\_i\\_melnichenko\\_g\\_a\\_red\\_endokrinologiya-2.pdf](https://panacea21.files.wordpress.com/2017/08/dedov_i_melnichenko_g_a_red_endokrinologiya-2.pdf) (in Russ.)
5. Makarov IV, Galkin RA, Lukashova AV, Kuposov IS, Khohlova DO. Surgical treatment of hyperparathyroidism in patients with chronic kidney disease on program hemodialysis. *Tavr Med-Biol Vestn.* 2017;20(3):177-83. <http://ma.cfuv.ru/docs/235726/T.20%20№3%202017.pdf> (in Russ.)
6. Cheren'ko SM. *Pervichnyi giperparatireoz: osnovy patogeneza, diagnostiki i khirurgicheskogo lecheniia.* Kiev, Ukraina; 2011. 147 s. <http://www.booksmed.com/hirurgiya/2046-pervichnyj-giperparatireoz-osnovy-patogeneza-diagnostiki-i-xirurgicheskogo-lecheniya-cherenko-sm.html> (in Russ.)
7. Magnabosco FF, Tavares MR, Montenegro FL. Surgical treatment of secondary hyperparathyroidism: a systematic review of the literature. *Arq Bras Endocrinol Metabol.* 2014 Jul;58(5):562-71. doi: 10.1590/0004-273000003372 [Article in Portuguese]
8. Balabolkin MI, Klebanova EM, Kreminskaia VM. *Differentsial'naia diagnostika i lechenie endokrinnykh zabolevaniy.* Moscow, RF, 2002. 752 p. <https://www.ozon.ru/context/detail/id/4677387/> (in Russ.)
9. Whitson BA, Brodie TA. Preoperative ultrasound and nuclear medicine studies improve the accuracy in localization of adenoma in hyperparathyroidism. *Surg*

- Today.* 2008;38(3):222-26. doi: 10.1007/s00595-007-3612-7
10. Civelek AC, Ozalp E, Donovan P, Udelsman R. Prospective evaluation of delayed technetium-99m sestamibi SPECT scintigraphy for preoperative localization of primary hyperparathyroidism. *Surgery.* 2002 Feb;131(2):149-57. <https://doi.org/10.1067/msy.2002.119817>
11. Johnson NA, Tublin ME, Ogilvie JB. Parathyroid imaging: technique and role in the preoperative evaluation of primary hyperparathyroidism. *AJR Am J Roentgenol.* 2007 Jun;188(6):1706-15. doi: 10.2214/AJR.06.0938
12. Takagi H, Tominaga Y, Uchida K, Yamada N, Kawai M, Kano T, Morimoto T. Subtotal versus total parathyroidectomy with forearm autograft for secondary hyperparathyroidism in chronic renal failure. *Ann Surg.* 1984 Jul;200(1):18-23. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1250386/>
13. Bilezikian JP, Brandi ML, Udelsman R, Marcocci C, Eastell R, Silverberg SJ, Potts JT Jr. Guidelines for the management of asymptomatic primary hyperparathyroidism: summary statement from the Fourth International Workshop. *J Clin Endocrinol Metab.* 2014 Oct;335-39. doi: 10.1210/jc.2008-1763
14. Bilezikian JP, Brandi ML, Eastell R, Silverberg SJ, Udelsman R, Marcocci C, Potts JT Jr. Guidelines for the management of asymptomatic primary hyperparathyroidism: summary statement from the Fourth International Workshop. *J Clin Endocrinol Metab.* 2014 Oct;99(10):3561-69. doi: 10.1210/jc.2014-1413
15. Kasai ET, da Silva JW, Mandarim de Lacerda CA, Boasquevisque E. Parathyroid glands: combination of sestamibi-(99m)Tc scintigraphy and ultrasonography for demonstration of hyperplastic parathyroid glands. *Rev Esp Med Nucl.* 2008 Jan-Feb;27(1):8-12. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18208776>

**Адрес для корреспонденции**

443099, Российская Федерация,  
г. Самара, ул. Чапаевская, д. 89,  
Самарский государственный  
медицинский университет,  
кафедра хирургических болезней № 1,  
тел. +7 903 334 22 59,  
e-mail: makarov-samgmu@yandex.ru,  
Макаров Игорь Валерьевич

**Сведения об авторах**

Макаров Игорь Валерьевич, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой хирургических болезней № 1, декан педиатрического факультета, Самарский государственный медицинский университет, г. Самара, Российская Федерация.  
<http://orcid.org/0000-0002-1068-3330>  
Жиров Владимир Валерьевич, к.т.н., заведующий центром образовательных информационных технологий, инженер-программист лаборатории технологий дополненной реальности отдела виртуальных технологий ЦПИ «ИТ в медицине», Самарский государственный медицинский университет, г. Самара, Российская Федерация.  
<https://orcid.org/0000-0002-3061-1713>  
Колсанов Александр Владимирович, д.м.н., профессор, профессор РАН, заведующий кафедрой оперативной хирургии, клинической анатомии с

**Address for correspondence**

443099, The Russian Federation,  
Samara, Chapayevskaya Str., 89,  
Samara State Medical University,  
Department of Surgical Diseases №1.  
Tel. +7 903 334-22-59,  
e-mail: makarov-samgmu@yandex.ru  
Igor V. Makarov

**Information about the authors**

Makarov Igor V., MD, Professor, Head of the Department of Surgical Diseases №1, Dean of the Pediatric Faculty, Samara State Medical University, Samara, Russian Federation.  
<http://orcid.org/0000-0002-1068-3330>  
Zhiron Vladimir V., PhD, Head of the Center for Educational Information Technologies, Programming Engineer of the Augmented Reality Technology Laboratory of the Virtual Technologies Department of the Center for Breakthrough Research "IT in Medicine", Samara State Medical University, Samara, Russian Federation.  
<https://orcid.org/0000-0002-3061-1713>  
Kolsanov Alexander V., MD, Professor of RAMS, Head of the Department of Operative Surgery, Clinical Anatomy with the Course of Innovative Technologies, Samara State Medical University, Samara, Russian Federation.

курсом инновационных технологий, Самарский государственный медицинский университет, г. Самара, Российская Федерация.

<http://orcid.org/0000-0002-4144-7090>

Галкин Рудольф Александрович, д.м.н., профессор кафедры хирургических болезней №1, Самарский государственный медицинский университет, г. Самара, Российская Федерация.

<http://orcid.org/0000-0003-3665-3161>

Сидоров Александр Юрьевич, к.м.н., доцент кафедры хирургических болезней №1, Самарский государственный медицинский университет, г. Самара, Российская Федерация.

<https://orcid.org/0000-0003-3613-4863>

Хохлова Дарья Олеговна, ординатор кафедры хирургических болезней №1, Самарский государственный медицинский университет, г. Самара, Российская Федерация.

<http://orcid.org/0000-0003-2913-5876>

#### **Информация о статье**

*Получена 29 октября 2018 г.*

*Принята в печать 3 июня 2019*

*Доступна на сайте 1 июля 2019 г.*

<http://orcid.org/0000-0002-4144-7090>

Galkin Rudolf A., MD, Professor of the Department of Surgical Diseases №1, Samara State Medical University, Samara, Russian Federation.

<http://orcid.org/0000-0003-3665-3161>

Sidorov Aleksandr Yu., PhD, Associate Professor of the Department of Surgical Diseases №1, Samara State Medical University, Samara, Russian Federation.

<https://orcid.org/0000-0003-3613-4863>

Khokhlova Darya O., Clinical Intern of the Department of Surgical Diseases №1, Samara State Medical University, Samara, Russian Federation.

<http://orcid.org/0000-0003-2913-5876>

#### **Article history**

*Arrived: 29 October 2018*

*Accepted for publication: 3 June 2019*

*Available online: 1 July 2019*