

© Team of authors, 2025 / © Коллектив авторов, 2025

3.1.2. Maxillofacial surgery, 3.1.25. Radiation diagnostics / 3.1.2. Челюстно-лицевая хирургия, 3.1.25. Лучевая диагностика

Abilities of radiomic analysis of ultrasound images in the diagnostics of tumors of the maxillofacial region

A.V. Lysenko ¹, A.I. Yaremenko ¹, N.L. Petrov ¹,
E.A. Vereshchagina ¹, I.S. Zheleznyak ²

¹FSBEI HE Academician I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University of the Ministry of Healthcare of Russian Federation, St. Petersburg, Russia

²FSBMEI HPE Kirov Military Medical Academy, Ministry of Defense of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia

Contacts: Elizaveta Alekseevna Vereshchagina – e-mail: vereshchaginabeta@gmail.com

Возможности радиомического анализа ультразвуковых изображений в диагностике объемных образований челюстно-лицевой области

А.В. Лысенко ¹, А.И. Яременко ¹, Н.Л. Петров ¹,
Е.А. Верещагина ¹, И.С. Железняк ²

¹ФГБОУ ВО Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова Минздрава РФ, Санкт-Петербург, Россия

²ФГБВОУ ВПО Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова Министерства обороны РФ, Санкт-Петербург, Россия

Контакты: Елизавета Алексеевна Верещагина – e-mail: vereshchaginabeta@gmail.com

超声影像组学分析在颌面部肿瘤诊断中的应用能力

A.V. Lysenko ¹, A.I. Yaremenko ¹, N.L. Petrov ¹,
E.A. Vereshchagina ¹, I.S. Zheleznyak ²

¹俄罗斯联邦卫生部圣彼得堡巴甫洛夫第一国立医科大学

²俄罗斯联邦国防部基洛夫军事医学院

联系方式: Elizaveta Alekseevna Vereshchagina — 邮箱: vereshchaginabeta@gmail.com

Background. Automated quantitative analysis of radiographic phenotyping refers to a modern digital research method that allows differential diagnosis of various pathological conditions of the maxillofacial region. Radiological data reflect the characteristics of tissues and lesions, such as heterogeneity and shape, and can, alone or in combination with demographic, histological, genomic or proteomic data, be used to solve clinical problems. Ultrasound is one of the most widely used imaging techniques worldwide. Due to its safety, low cost and accessibility, it is often used as a non-invasive diagnostic and follow-up method in various applications.

The aim of the study was to evaluate the possibilities of radiomic analysis in the differential diagnosis of the maxillofacial region masses for further development of an artificial intelligence-based program that can make a preliminary diagnosis using radiomic analysis of ultrasound images.

Material and methods. Literature review, examination results of 77 patients with various pathological conditions of the maxillofacial region aged from 25 to 72 years, 56 females and 21 males (the diagnosis was confirmed radiologically and pathologically), statistical analysis of the results.

Results. According to the literature review, Loïc Duron et al., 2021 proved the possibility of using radiomic analysis of ultrasound images for the diagnosis of pathological conditions of the head and neck. The most frequent cases out of 77 were neoplasms (pleomorphic adenoma) – 29 (78.39%) and cysts – 8 (21.62%) of the large salivary glands. After pathological confirmation of the diagnosis, the ultrasound images obtained were subjected to manual segmentation, then quantitative analysis using the Slicer 5.6.1 software, as a result of which radiomic features (n=120), represented by digital values, were calculated. Principal component analysis confirmed the presence of radiomic features characteristic of only one condition. Further, we selected features (n=50) with a coefficient of repeatability below 1. Of these, 5 radiomic features were characteristic of only one condition, which can be interpreted as a potential imaging biomarker for these nosologies.

Conclusion: Five imaging biomarkers for the diagnosis of pleomorphic adenomas and large salivary gland cysts were identified (Original Glcm JointAverage, Original Glrlm RunEntropy and Original Glmszm GreyLevelNonUniformityNormalized for pleomorphic adenomas, Original Glmszm GreyLevelVariance and Original Glcm SumEntropy for cysts). Further research is needed to obtain more data. This radiomics model facilitates proper patient routing and selection of the optimal treatment method.

Key words: radiomics, radiomics analysis, segmentation, radiomic feature, artificial intelligence, ultrasound, biomarker

Conflicts of interest. The authors have no conflicts of interest to declare.

Funding. There was no funding for this study

For citation: Lysenko A.V., Yaremenko A.I., Petrov N.L., Vereshchagina E.A., Zheleznyak I.S. Abilities of radiomic analysis of ultrasound images in the diagnostics of tumors of the maxillofacial region. *Head and neck. Russian Journal.* 2025;13(2):114–122

Doi: 10.25792/HN.2025.13.2.114-122

The authors are responsible for the originality of the data presented and the possibility of publishing illustrative material – tables, drawings, photographs of patients.

Автоматизированный количественный анализ радиографического фенотипирования относится к современному цифровому методу исследования, который позволяет проводить дифференциальную диагностику различных патологических состояний челюстно-лицевой области (ЧЛО). Радиологические данные отражают характеристики тканей и очагов поражения, такие как гетерогенность и форма, и могут отдельно или в сочетании с демографическими, гистологическими, геномными или протеомными данными, использоваться для решения клинических проблем. Ультразвуковое исследование (УЗИ) является одним из наиболее широко используемых методов визуализации во всем мире. Благодаря безопасности, невысокой стоимости и доступности оно часто используется в качестве неинвазивного метода диагностики и последующего наблюдения в различных областях применения.

Цель исследования: оценить возможности радиомического анализа в дифференциальной диагностике объемных образований ЧЛО для дальнейшей разработки программы на основе искусственного интеллекта, которая с помощью радиомического анализа УЗ-изображений сможет ставить предварительный диагноз.

Материал и методы. Обзор литературы, результаты обследования 77 пациентов с различными патологическими состояниями ЧЛО от 25 до 72 лет, 56 женщин и 21 мужчина (диагноз подтвержден рентгенологически и гистологически), статистический анализ полученных результатов.

Результаты. По данным обзора литературы, в 2021 г. Loïc Duron и др. доказали возможность применения радиомического анализа ультразвуковых изображений для диагностики патологических состояний головы и шеи. Наиболее частыми случаями из 77 были новообразования (плеоморфная аденома): 29 (78,39%) и кисты – 8 (21,62%) больших слюнных желез. После гистологического подтверждения диагноза полученные ультразвуковые изображения подвергались ручной сегментации, затем количественному анализу в программе Slicer 5.6.1, в результате чего были рассчитаны радиомические признаки ($n=120$), представленные цифровыми значениями. Проведенный анализ методом главных компонент подтвердил наличие радиомических признаков, характерных только для одного диагноза. Далее были отобраны признаки ($n=50$) с коэффициентом повторяемости ниже 1. Из них 5 радиомических признаков были характерны только для одного диагноза, что может быть интерпретировано как потенциальный биомаркер визуализации данных нозологий. Оставшиеся 45 признаков были характерны для обоих диагнозов, но различия цифровых значений между ними оказались статистически незначимыми (p -значение = 0,72; уровень значимости $\alpha=0,05$). Следовательно, эти данные не могли быть использованы в качестве потенциальных биомаркеров визуализации. **Заключение.** Было выявлено 5 биомаркеров визуализации для диагностики плеоморфных аденом и кист больших слюнных желез (для плеоморфных аденом – Original Glcm JointAverage, Original Glrlm RunEntropy и Original Glszm GreyLevelNonUniformityNormalized, для кист – Original Glszm GreyLevelVariance и Original Glcm SumEntropy). Необходимы дальнейшие исследования для получения большего объема данных. Такая модель радиомики способствует правильной маршрутизации пациента и выбору оптимального метода лечения.

Ключевые слова: радиомика, радиомический анализ, сегментация, радиомический признак, искусственный интеллект, ультразвуковое исследование, биомаркер визуализации

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена без спонсорской поддержки.

Для цитирования: Лысенко А.В., Яременко А.И., Петров Н.Л., Верещагина Е.А., Железняк И.С. Возможности радиомического анализа ультразвуковых изображений в диагностике объемных образований челюстно-лицевой области. *Head and neck. Голова и шея. Российский журнал.* 2025;13(2):114–122

Doi: 10.25792/HN.2025.13.2.114-122

Авторы несут ответственность за оригинальность представленных данных и возможность публикации иллюстративного материала – таблиц, рисунков, фотографий пациентов.

背景：放射组学表型的自动化定量分析是一种现代数字研究方法，可用于颌面部多种病理状态的鉴别诊断。影像学数据能反映组织和病变的特征（如异质性和形态），并可单独或结合人口统计学、组织学、基因组或蛋白质组

данные для решения клинических задач. Ультразвук является одной из наиболее широко применяемых технологий в медицине, благодаря своей безопасности, низкой стоимости и доступности. Он часто используется в качестве неинвазивного метода диагностики и последующего наблюдения в различных областях применения.

Цель исследования: оценить потенциал ультразвуковой радиомикологии в диагностике опухолей челюстно-лицевой области, а именно в выявлении и дифференциации опухолей слюнных желез и мягких тканей.

Материалы и методы: проведен обзор литературы по теме исследования. Были рассмотрены работы, посвященные применению ультразвуковой радиомикологии в диагностике опухолей челюстно-лицевой области.

Результаты: в результате обзора литературы было выявлено, что ультразвуковая радиомикология является перспективной технологией в диагностике опухолей челюстно-лицевой области. Она позволяет выявлять опухоли слюнных желез и мягких тканей, а также дифференцировать их.

Выводы: ультразвуковая радиомикология является перспективной технологией в диагностике опухолей челюстно-лицевой области. Она позволяет выявлять опухоли слюнных желез и мягких тканей, а также дифференцировать их.

Ключевые слова: ультразвуковая радиомикология, опухоли челюстно-лицевой области, диагностика.

Конфликт интересов: отсутствует.

Финансирование: исследование финансировано за счет собственных средств.

Ссылки: Lysenko A.V., Yaremenko A.I., Petrov N.L., Vereshchagina E.A., Zheleznyak I.S. Abilities of radiomic analysis of ultrasound images in the diagnostics of tumors of the maxillofacial region. *Head and neck. Russian Journal.* 2025;13(2):114–122

Doi: 10.25792/HN.2025.13.2.114-122

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Автоматизированный количественный анализ радиографического фенотипирования относится к современному цифровому методу исследования, который позволяет проводить дифференциальную диагностику различных патологических состояний челюстно-лицевой области (ЧЛО). Радиологические данные отражают характеристики тканей и очагов поражения, такие как гетерогенность и форма, и могут отдельно или в сочетании с демографическими, гистологическими, геномными или протеомными данными, использоваться для решения клинических проблем [1]. Предпосылки к созданию и развитию радиомикологии появились относительно давно, еще в 60-х гг. XX в., с изобретения систем CAD-CAM (Computer aided design, computer aided manufacturing). Естественно, изначально область ее применения была ограничена тяжелой промышленностью, а именно, авиастроением. Со временем и ускорением развития технологий данная инновация внедрилась и в другие сферы деятельности, в частности в медицину. Использование и роль технологий медицинской визуализации значительно расширились – от использования в качестве диагностического инструмента до более важной роли в персонализированной медицине [2].

Ультразвуковое исследование (УЗИ) является одним из наиболее широко используемых методов визуализации во всем мире. Благодаря безопасности, невысокой стоимости и доступности оно часто используется в качестве неинвазивного метода диагностики и последующего наблюдения в различных областях применения.

Поскольку для верификации диагноза новообразования необходимо проведение гистологического и/или цитологического исследования, все пациенты проходят через процедуру взятия биопсии, что чаще всего сопровождается страхом боли и подтверждения диагноза злокачественного новообразования, вследствие чего многие из них неохотно идут на процедуру или вовсе отказываются даже при наличии ярких клинических проявлений.

Научная новизна

Поскольку тема радиомикологии чаще всего использовалась в онкологии, то большинство исследований касались преимущественно 3D-медицинских изображений, таких как компьютерная (КТ), магнитно-резонансная (МРТ) и позитронно-эмиссионная (ПЭТ) томография. В процессе сбора литературного материала получилось найти лишь одно исследование возможностей радиомикологического анализа УЗ-изображений ЧЛО, а именно орбиты [3]. Мы же решили провести исследование возможностей радиомикологического анализа УЗ-изображений больших слюнных желез и собрать необходимую базу данных для выявления отличительных цифровых характеристик того или иного патологического состояния выбранной области.

Целью исследования является создание программы на основе искусственного интеллекта, которая с помощью радиомикологического анализа медицинских изображений, а именно УЗ-изображений, сможет ставить предварительный диагноз. Это сможет помочь молодым специалистам в процессе их обучения, а также позволит

получить квалифицированную интерпретацию изображения в отсутствие рентгенолога, в качестве неинвазивной цифровой биопсии. В задачи исследования входит оценка возможностей радиомического анализа в дифференциальной диагностике объемных образований ЧЛО.

Материал и методы

Еще в 2021 г. французские исследователи Loïc Duron и соавт. доказали возможность применения радиомического анализа УЗ-изображений для дифференциальной диагностики патологических состояний орбиты [3]. Поэтому мы решили провести свое проспективное сравнительное клиническое исследование на основе радиомического анализа УЗ-изображений выбранных областей ЧЛО. Для этого были отобраны 77 пациентов (56 женщин и 21 мужчина).

Критериями включения являлись возраст от 18 лет, наличие гистологически подтвержденного диагноза доброкачественного образования ЧЛО, поражения одноименных локализаций (большие слюнные железы). Критерии исключения: возраст до 18 лет, наличие гистологически подтвержденного диагноза злокачественного новообразования, различные локализации поражений.

После гистологического и рентгенологического подтверждения диагноза и получения УЗ-изображения оно подвергалось обработке, сегментированию и количественному анализу в специальной программе Slicer 5.6.1, в результате чего были рассчитаны радиомические признаки, которые представлены цифровыми значениями.

В качестве метода статистической обработки данных мы использовали метод статистической проверки гипотез, основанный на распределении Стьюдента.

Далее полученные признаки статистически анализировались, и в результате были выявлены те статистически значимые признаки, которые потенциально могут быть интерпретированы как биомаркер визуализации того или иного патологического состояния.

Результаты

Из 77 случаев наиболее частыми являлись новообразования (плеоморфная аденома): 29 (78,39%) и кисты – 8 (21,62%) больших слюнных желез. На КТ-снимках кисты определяются, как гипоплотные образования, округлой формы с четкими, ровными контурами, однородной структуры.

Согласно N. Kakimoto и соавт. вероятность обнаружения плеоморфной аденомы 77% на аксиальных КТ-снимках, 90% – на аксиальных КТ-снимках с контрастированием соответственно. Границы новообразования четко очерчены во многих случаях на КТ-снимках (73–92%). Границы поражения, как правило, гладкие (55–62%). Вид образования на обычных КТ-снимках неоднородный (71%). Контраст между поражением и окружающей тканью на обычных КТ-снимках (56%) низкий, в то время как на КТ-снимках с контрастированием контраст высокий (81 или 55%). Интенсивность сигнала на обычных КТ-изображениях средней интенсивности (82%), а с контрастированием – варьируется от средней до высокой [4].

Мы использовали ручной метод обозначения зоны интереса, при этом сегментация УЗ-изображения проводилась врачом-рентгенологом, имеющим сертификат специальности «ультразвуковая диагностика» (рис. 1, 2).



Рис. 1, 2. Этап ручной сегментации в программе Slicer 5.6.1

Fig. 1, 2. Manual segmentation step in the Slicer 5.6.1 software

Впоследствии, проведя анализ методом главных компонент (PCA), проведенный в программе RStudio, мы получили точечную 2D-диаграмму, на которой четко видно, что большинство точек, обозначающих плеоморфные аденомы, сгруппировались отдельно от точек, обозначающих кисты, что лишь доказывает наличие радиомических признаков, характерных лишь для данного диагноза (рис. 3). Аналогичный вывод можно сделать и для кист.

Для выявления биомаркеров визуализации необходимо отбирать признаки, цифровые значения которых у всех пациентов с одноименным диагнозом будут стремиться к среднему арифметическому значению в 95% случаев. Такую ситуацию характеризует коэффициент повторяемости RC (Repeatability Coefficient). Чем меньше коэффициент, тем выше повторяемость, поэтому было решено отбирать признаки с коэффициентом повторяемости ниже 1. Поскольку из 2 полученных выборок 45 признаков совпали, мы сравнили их значения, в результате чего из-за высокого сходства было отобрано 16 одноименных признаков с разницей в значении не менее 0,1. Поскольку мы получили 2 зависимые выборки, было необходимо оценить статистическую значимость различий между ними. Для этого мы воспользовались методом статистической проверки гипотез, основанных на распределении Стьюдента. Сначала было сформировано 2 гипотезы: нулевая и альтернативная. Нулевая – это «Существенной разницы между выборками нет» и Альтернативная – «Есть статистически значимая разница между выборками». Был выбран уровень значимости, равный 0,05 (95%). Далее было рассчитано критическое значение t-критерия Стьюдента и степень свободы, на основании чего p-значение получилось равным 0,72 (18%), что больше выбранного нами уровня значимости. Из этого следует, что существенной разницы между выборками нет и такие данные невозможно использовать для диагностики образований ЧЛО. Оставшиеся 5 признаков были характерны только для одного из диагнозов: для плеоморфных аденом – Original Glcm JointAverage, Original Glrlm RunEntropy и Original Glszm GreyLevelNonUniformityNormalized, для кист – Original Glszm GreyLevelVariance и Original Glcm SumEntropy.

Обсуждение

Сегментация

Сегментация подразделяется на несколько видов: ручная, полуавтоматическая и автоматическая. Поскольку на данный момент единого протокола проведения сегментации не существует, то выбор метода остается на усмотрение исследователя. Ручная сегментация проводится квалифицированным врачом-рентгенологом. Это позволяет более детально выделить необходимые параметры из интересующих областей, однако требует больших временных затрат и значительного опыта специалиста.

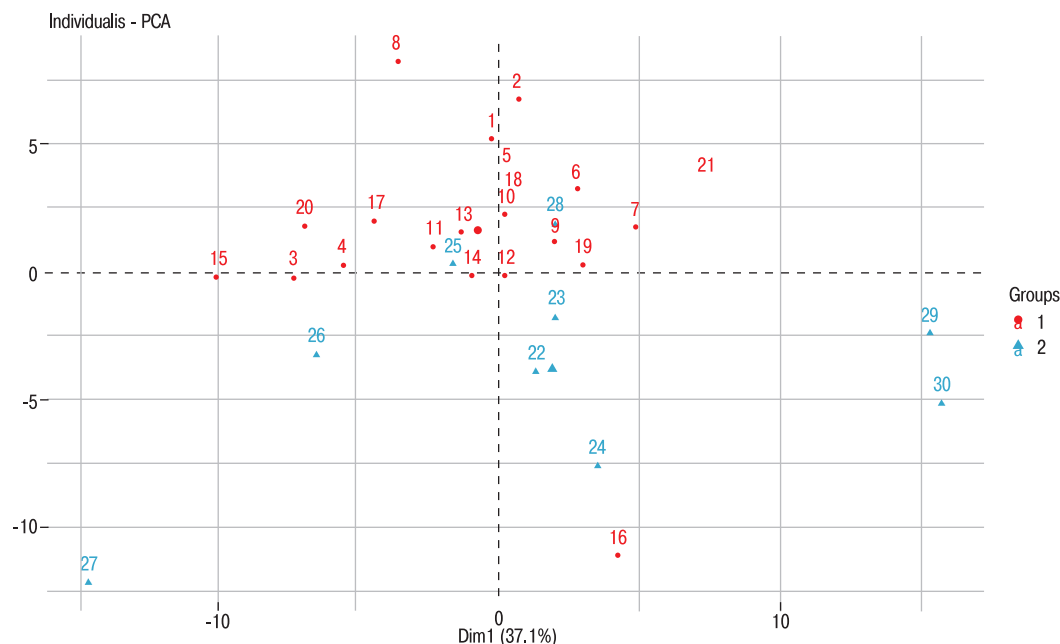


Рис. 3. График, отображающий результаты проведенного анализа методом главных компонент

Красные обозначения — плеоморфные аденомы больших слюнных желез; голубые обозначения — кисты больших слюнных желез.

Fig. 3. The plot showing the results of the principal component analysis

Red symbols — pleomorphic adenomas of the major salivary glands; blue symbols — cysts of the major salivary glands.

Автоматическое и полуавтоматическое сегментирование проводится с помощью глубокого машинного обучения искусственного интеллекта, это минимизирует время и повышает последовательность в разграничении областей интереса, но на данный момент значительно уступает в точности ручному методу [5].

Так, Р. Schelb и соавт. в своем исследовании 165 пациентам с подозрением на клинически выраженный рак простаты после многопараметрической МРТ была проведена биопсия, подтвердившая диагноз. Ретроспективно были сформированы наборы сегментаций: сегментации клинических поражений (контрольная группа), независимые сегментации, выполненные тремя рентгенологами, и полностью автоматизированные двухпараметрические сегментации U-Net. Соответствие по каждой зоне интереса было рассчитано для каждого варианта сегментации путем определения среднего коэффициента Dice для всех перекрывающихся участков с контрольной группой. Соответствие определялось с помощью описательной статистики и линейных смешанных моделей. Средний коэффициент Dice для ручного сегментирования показал лишь умеренное соответствие на уровне 0,48–0,52, что отражает сложную визуальную задачу определения контуров совместно обнаруженных поражений. Зона, обозначенная U-Net, была значительно меньше по размеру, чем при ручной сегментации ($p < 0,0001$), и имела более низкий средний коэффициент Dice, равный 0,22, что было значительно ниже по сравнению с ручной сегментацией (все $p < 0,0001$).

Знание порядка согласования результатов сегментации, выполненных разными рентгенологами вручную, важно для определения ожидаемого значения для систем искусственного интеллекта (ИИ) в задаче сегментации изображения [6]. Не следует ожидать идеального соответствия (коэффициент Dice, равный единице) для ИИ. Более низкие коэффициенты Dice в U-Net по сравнению с ручной сегментацией лишь частично объясняются меньшими размерами участка сегментации и могут

быть результатом сосредоточения внимания на ядре поражения и небольшого относительного смещения центра поражения [7].

Промежуточные коэффициенты Dice для ручной сегментации отражают сложность определения совместно обнаруженных очагов поражения. Более низкие коэффициенты Dice для глубокого машинного обучения мотивируют дальнейшие исследования для приближения к человеческому восприятию [8].

Радиомические признаки

После обработки, сегментирования и количественного анализа в специальной программе рассчитываются радиомические признаки, которые представлены цифровыми значениями. Далее полученные признаки статистически анализируются, и в результате отбираются те статистически значимые признаки, которые потенциально могут быть интерпретированы как биомаркер визуализации того или иного патологического состояния. Большую популярность в последнее время приобретают автоматические алгоритмы, наиболее популярными из которых являются регрессия, нейронные сети и различные виды решающих деревьев. Таким образом, из большого множества признаков отбираются биомаркеры, удовлетворяющие тем критериям, по которым они отбирались.

Радиомические признаки можно условно разделить на статистические, в т.ч. основанные на гистограммах и текстурах, далее основанные на моделях, основанные на преобразовании и основанные на форме [9].

Применение радиомики в челюстно-лицевой хирургии

Онкология

Новообразования головы и шеи имеют тенденцию к быстрому метастазированию и увеличению в размерах первичного очага,

поэтому необходимо проводить адекватную противоопухолевую терапию в кратчайшие сроки. Плоскоклеточный рак в области гортани является наиболее часто встречающимся злокачественным новообразованием, и хирургическое вмешательство является лучшим методом лечения. В таких ситуациях КТ, МРТ или ПЭТ-сканирование широко используются для постановки диагноза и планирования лечения, а также для последующего контроля в специализированных клинических центрах [10]. В частности, комбинированная ПЭТ/КТ с использованием метода слияния изображений дает множество преимуществ для клинической практики как для определения стадии опухолевого процесса, так и при последующем наблюдении. Эти преимущества в основном связаны с морфологической визуализацией локализации патологии на основе КТ в сочетании с метаболической ПЭТ-визуализацией результатов определения патологического радиометрического показателя, что обеспечивает уникальное сочетание двух методов получения изображений. Вот почему одно-единственное ПЭТ/КТ-сканирование тела может заменить дополнительные рентгенологические процедуры [11]. Однако, поскольку изображения ПЭТ/КТ обычно визуализируются в двух измерениях на рабочей станции отдельно от пациента, становится необходимым перенести информацию, полученную из 2D-изображений, в 3D. Метод дополненной реальности, использующий радиометрический анализ медицинских изображений, позволяет решить эту задачу, непосредственно обеспечивая визуализацию необходимых данных и зону операции в одном физическом пространстве, что, по сути, позволяет рентгеновскому зрению видеть сквозь объекты реального мира. В частности, иммерсивные системы дополненной реальности, такие как оптические прозрачные дисплеи, устанавливаемые на голову (OST-HMDS), могут быть интегрированы в процесс визуализации и могут использоваться для отображения медицинских данных в 2D или 3D непосредственно на пациенте без использования отдельного рабочего места. Хирург может наблюдать за пациентом через очки дополненной реальности, одновременно непосредственно изучая рентгенологическую информацию о патологии и окружающих анатомических структурах в сочетании без каких-либо отвлекающих факторов. Такой новый подход к визуализации в челюстно-лицевой хирургии может положительно повлиять на весь процесс клинической диагностики и лечения онкологических заболеваний, обеспечивая улучшенное пространственное восприятие анатомических структур и качественное трехмерное взаимодействие [12].

Микрохирургия

Технология дополненной реальности в настоящее время исследуется для применения в микроинвазивной хирургии в различных медицинских дисциплинах. Большинство исследований на сегодняшний день были ограничены экспериментальными разработками, в то время как число клинических испытаний и систематических обзоров невелико. Большинство статей, посвященных навигации с использованием дополненной реальности, посвящены эндоскопическим/лапароскопическим операциям. Было доказано, что такая технология улучшает эргономику и визуализацию, а также сокращает время операции и кровопотерю. Дополненная реальность может быть использована для улучшения образования и подготовки хирургов, а также для создания и усовершенствования новых пользовательских интерфейсов, которые могут косвенно улучшить микроинвазивные хирургические процедуры. Однако на сегодняшний день не хватает контролируемых исследований с большим числом

случаев, стандартизированными параметрами результатов и отчетностью, чтобы подтвердить их ценность для клинического применения [13]. Например, технология дополненной реальности в дальнейшем может быть внедрена в апикальную микрохирургию [14].

Реконструктивная хирургия лица

Операции по восстановлению лица требуют высокой точности для безопасной и быстрой навигации по анатомическим структурам. Этот метод не основан на маркерах отслеживания, прикрепленных к пациенту, он может выполняться автоматически для поддержания правильной сцены дополненной реальности и устранения снижения точности позиционирования, вызванного перемещениями пациента во время операции [15].

Хирургия височно-нижнечелюстного сустава

При артроскопии височно-нижнечелюстного сустава необходимо определять точку прокола кожи. Для этого используют анатомию поверхности кантально-козелковой линии. Однако по имеющимся данным, традиционная пункционная техника не удалась с первой попытки в 18% случаев [16]. Пропорциональная кондилэктомия часто используется в качестве начального метода лечения односторонней гиперплазии мышечелков. Ключевым моментом при пропорциональной кондилэктомии является возможность разместить плоскость остеотомии в нужном месте, чтобы уменьшить вертикальную асимметрию ветви нижней челюсти. С клинической точки зрения, остается сложной задача перенести практически запланированную плоскость кондилэктомии пациенту во время операции. Ограниченный хирургический доступ, аксиальное расположение головки мышечелка и расположение мышечелка в ямке часто ограничивают полный обзор головки мышечелка и затрудняют использование хирургических направляющих. В качестве нового клинического рабочего процесса для пошагового проведения такой процедуры можно использовать дополненную реальность [17].

Имплантология

Существующая система навигации по имплантации с дополненной реальностью обычно использует маркеры для управления изображением. Однако маркеры часто влияют на работу стоматологов и доставляют дискомфорт пациентам. Чтобы решить проблему, связанную с маркерами, был предложен эффективный метод управления изображением без них. После завершения инициализации путем сопоставления контуров, благодаря сопоставлению характерных точек между текущей рамкой и предварительно загруженной исходной рамкой, получают соответствующую зависимость. Такой метод позволяет стоматологам точно определить, как проводить операцию по имплантации с минимальной вероятностью совершения ошибки [18].

Инородные тела ЧЛО

Инородные тела в ЧЛО могут повредить важные анатомические структуры, даже оставаясь неподвижными. Из-за эстетической проблемы данной области хирурги должны максимально минимизировать операционные травмы. Поэтому очень важна точная предоперационная диагностика и интраоперационная локализация инородных тел. Новая технология визуализации и дополненная реальность объединяют виртуальные элементы с реальными объектами. Однако удаление инородных тел ЧЛО является довольно сложной задачей. В настоящее время хирургическая навигационная технология является полезным и

точным методом определения местоположения при удалении инородных тел, который в основном основан на оптических или электромагнитных методах локализации. Технология дополненной реальности, являющаяся новой технологией наведения на изображение, позволяет интегрировать виртуальную информацию в реальную физическую среду, представляя интегрированные изображения оператору через экран дисплея [19].

Удаление зубов

Задержка прорезывания, неправильный прикус, плохая гигиена полости рта и образование фолликулярных кист – вот некоторые осложнения, связанные с удалением зуба. Хотя хирургическое удаление является одним из возможных методов предотвращения таких осложнений, оно также может привести к перелому корней или к необратимому повреждению молодых зубов и десен. В последнее время компьютерное предоперационное моделирование стало полезным при планировании операции по точному удалению ретенционных зубов с помощью трехмерных изображений. Будучи минимально инвазивной, система, управляемая с помощью дополненной реальности, может точно определить положение зуба [20].

Хирургия слюнных желез

Раньше хирурги не знали о расположении лицевого нерва во время операции на околоушно-жевательной области. Теперь с помощью специальных последовательностей МРТ его можно обнаружить и преобразовать в 3D-модель, отображаемую на устройстве дополненной реальности, чтобы хирурги могли изучать лицевой нерв и совершать определенные манипуляции. Во всех случаях прогнозируемая траектория нерва, взятая из 3D-модели, сочеталась с хирургическим наблюдением и видеозаписью. Оказалось, что визуализация применима как при доброкачественных, так и при злокачественных образованиях. Это также улучшило процесс получения информированного согласия пациента. Трехмерная МРТ лицевого нерва в околоушной железе и ее отображение в 3D-модели – это инновационный метод в хирургии околоушной железы. Теперь хирурги могут видеть расположение нерва и адаптировать свой подход к новообразованию каждого пациента, обеспечивая персонализированное лечение. Этот метод устраняет слепую зону хирурга и является существенным преимуществом в хирургии слюнных желез [21].

Радиомика с использованием УЗИ

УЗИ является одним из наиболее широко используемых методов визуализации во всем мире. Поскольку это безопасный, неионизирующий, недорогой и легкодоступный метод, в т.ч. в развивающихся странах, он широко используется в качестве неинвазивного метода диагностики и последующего наблюдения в различных областях.

Согласно мировой литературе, изменчивость результатов УЗ-диагностики влияет на повторяемость радиомических признаков. Стоит отметить, что этапы предварительной обработки изображений влияют на повторяемость признаков. В частности, для улучшения повторяемости радиомических признаков при УЗИ следует использовать метод дискретизации по уровню серого с фиксированным размером ячейки и стандартизацию интенсивности изображения с удалением выбросов, применяемых к интересующей области, а не ко всему изображению или ограничивающей рамке [22]. Стандартизация интенсивности

изображения с удалением выбросов, применяемая к зонам интереса, выделенным на изображении, и метод дискретизации на уровне серого с фиксированным размером ячейки, могут увеличить число повторяющихся признаков и, следовательно, потенциальных биомаркеров визуализации [3].

УЗИ требует относительно простой технологии и не оказывает вредного воздействия на здоровье. При УЗИ, поскольку изображение получается динамическим и зависит от трехмерного движения датчика, опыт оператора имеет решающее значение при получении изображения; низкое качество изображения и возможные артефакты еще больше повышают требования к опыту специалиста [23]. В традиционной клинической практике определение очагов поражения при УЗИ основано исключительно на изображениях, полученных невооруженным глазом. Для получения необходимой информации можно выполнить контурное сканирование очагов поражения, но это требует времени и зависит от наблюдателя [24]. Поэтому было предложено несколько методов автоматической сегментации поражения. Методы активного контура, роста области и пороговые значения были основными методами сегментации, которые использовались в ранних исследованиях. Однако они часто требуют ручного вмешательства. Низкое качество визуализации при УЗИ может привести к тому, что лечащий врач пропустит очаг поражения. Кроме того, по данным Neil и соавт., максимальная погрешность при взятии образца ткани из очага поражения также может составлять 10%. Таким образом, процедура биопсии в значительной степени зависит от квалификации врача. Существуют попытки усовершенствования данной процедуры за счет радиомического анализа УЗИ-изображений путем использования дополненной реальности (AR), которая предоставляет информацию, такую как отслеживание биопсийной иглы в поле зрения в режиме реального времени [25].

Заключение

Под контролем гистопатологического исследования было выявлено 5 потенциальных биомаркеров визуализации для диагностики плеоморфных аденом и кист больших слюнных желез (для плеоморфных аденом – Original Glcm JointAverage, Original Glrlm RunEntropy и Original Glzsm GreyLevelNonUniformityNormalized, для кист – Original Glzsm GreyLevelVariance и Original Glcm SumEntropy). Необходимы дальнейшие исследования для получения большего объема данных и расширений возможностей дифференцирования остальных патологий ЧЛО. Диагностическая модель радиомики позволит ускорить и улучшить качество обучения молодых специалистов и выполнить неинвазивную цифровую биопсию новообразований в отсутствие узкого специалиста, что будет способствовать правильной маршрутизации пациента и выбору оптимального метода лечения.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Lambin P., Rios-Velazquez E., Leijenaar R., et al. Radiomics: Extracting more information from medical images using advanced feature analysis. *Eur. J. Cancer*. 2012;48:441–46.
2. Mayerhoefer M.E., Materka A., Langs G., et al. Introduction to Radiomics. *J. Nuclear Med.* 2020;118.
3. Duron L., Savatovsky J., Fournier L., Lecler A. Can we use radiomics in ultrasound imaging? Impact of preprocessing on feature repeatability. *Diagn. Intervent. Imaging*. 2021;102(11):659–67.

4. Kakimoto N., Gamoh S., Tamaki J., et al. CT and MR images of pleomorphic adenoma in major and minor salivary glands. *Eur. J. Radiol.* 2009;69(3):464–72.
5. Лысенко А.В., Яременко А.И., Баранов С.С. Радиомика — инновационный метод визуализации в медицине. Перспективы применения при заболеваниях челюстно-лицевой области. Обзор литературы. *Bull. Oral Maxillofac. Surg.* 2022;18(1):154–63. [Lysenko A.V., Yaremenko A.I., Baranov S.S. Radiomix is an innovative imaging technique in medicine. Prospects for use in diseases of the maxillofacial region. Literature review. *Bull. Oral Maxillofac. Surg.* 2022;18(1):154–63. (In Russ.)]
6. Greer M.D., Brown A.M., Shih J.H. Accuracy and agreement of PIRADSV2 for prostate cancer mpMRI: A multireader study. *J. Magn. Reson. Imaging.* 2017;45:579–85.
7. Schelb P., Kohl S., Radtke J.P. Classification of Cancer at Prostate MRI: Deep Learning versus Clinical PI-RADS Assessment. *Radiology.* 2019;293:607–17.
8. Schelb P., Anoshirwan Andrej Tavakoli, Teeravut Tubtawee, et al. Comparison of Prostate MRI Lesion Segmentation Agreement Between Multiple Radiologists and a Fully Automatic Deep Learning System. *Rofo.* 2021;193(5):559–73.
9. Haralick R.M., Shanmugam K., Dinstein I. Textural Features for Image Classification. *IEEE Trans Syst Man Cybern.* Published online 1973. P. 610–21.
10. Higgins K.A., Hoang J.K., Roach M.C. Analysis of pretreatment FDG-PET SUV parameters in head-and-neck cancer: tumor SUVmean has superior prognostic value. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2012;82:548–53.
11. Bowen S.R., Yuh W.T.C., Hippe D.S. Tumor radiomic heterogeneity: Multiparametric functional imaging to characterize variability and predict response following cervical cancer radiation therapy. *J. Magn. Reson. Imaging JMRI.* Published online 2017.
12. Gsaxner C., Wallner J., Chen X., et al. Facial model collection for medical augmented reality in oncologic craniomaxillofacial surgery. *Sci. Data.* 2019;6(1).
13. Brockmeyer P., Wiechens B., Schliephake H. The Role of Augmented Reality in the Advancement of Minimally Invasive SurgerProcedures: A Scoping Review. *Bioengineering (Basel).* 2023;10(4):501.
14. Bosshard F.A., Valdec S., Dehghani N., et al. Accuracy of augmented reality-assisted vs template-guided apicoectomy - an ex vivo comparative study. *Int. J. Comput. Dent.* 2023;26(1):11–8.
15. Shao L., Fu T., Zheng Zh., et al. Augmented reality navigation with real-time tracking for facial repair surgery. *J. Comput. Assist. Radiol. Surg.* 2022;17(6):981–91.
16. Wang Y.Y., Liu H.-P., Hsiao F.-L., Kumar A. Augmented reality for temporomandibular joint arthrocentesis: a cadaver study. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 2019;48(8):1084–7.
17. Bussink T., Maal T., Meulstee J., Xi T. Augmented reality guided condylectomy. *Br. J. Oral Maxillofac. Surg.* 2022;60(7):991–3.
18. Dong S., Du C., He B., et al. Application of an effective marker-less augmented reality image guidance method in dental implant surgery. *Int. J. Med. Robot.* 2023;19(4).
19. Yao J., Zeng W., Zhou S., et al. Augmented Reality Technology Could Be an Alternative Method to Treat Craniomaxillofacial Foreign Bodies: A Comparative Study Between Augmented Reality Technology and Navigation Technology. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 2020;78(4):578–87.
20. Suenaga H., Sakakibara A., Taniguchi A., Hosh K. Computer-Assisted Preoperative Simulation and Augmented Reality for Extraction of Impacted Supernumerary Teeth: A Clinical Case Report of Two Cases. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 2023;81(2):201–5.
21. Saadya A., Chegini S., Morley S., McGur M. Augmented reality presentation of the extracranial facial nerve: an innovation in parotid surgery. *Br. J. Oral Maxillofac. Surg.* 2023;61(6):428–36.
22. Li F., Pan D., He Y., et al. Using ultrasound features and radiomics analysis to predict lymph node metastasis in patients with thyroid cancer. *BMC. Surgery.* 2020;20(1).
23. Hindi A., Peterson C., Barr R.G. Artifacts in diagnostic ultrasound. *Rep. Med. Imaging.* 2013;6:29–48.
24. Hu Y., Guo Y., Wang Y., et al. Automatic tumor segmentation in breast ultrasound images using a dilated fully convolutional network combined with an active contour model. *Med. Phys.* 2019;46:215–28.
25. Costa N., Ferreira L., de Araújo A.R.V.F., et al. Augmented Reality-Assisted Ultrasound Breast Biopsy. *Sensors (Basel).* 2023;23(4).

Поступила 03.03.2025

Получены положительные рецензии 17.03.25

Принята в печать 24.03.25

Received 03.03.2025

Positive reviews received 17.03.25

Accepted 24.03.25

Вклад авторов. Все авторы внесли равноценный вклад в написание статьи.

The contribution of the authors. All the authors have made an equal contribution to the writing of the article.

Информация об авторах:

Лысенко Анна Валерьевна — к.м.н., заведующая отделением хирургической стоматологии и амбулаторной челюстно-лицевой хирургии, руководитель центра Цифровых и аддитивных технологий НИИ стоматологии и ЧЛХ ФГБОУ ВО Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова Минздрава РФ; доцент кафедры стоматологии общей практики ЧОУ ДПО «СПб ИНСТОМ». Адрес: 197022, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6-8; e-mail: lysenko.anna@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5625-1085>.

Яременко Андрей Ильич — д.м.н., профессор, заведующий кафедрой хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии, проректор по учебной работе ФГБОУ ВО Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова Минздрава РФ. Адрес: 197022, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6-8; e-mail: hirstom_pspbmu@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7700-7724>.

Петров Николай Леонидович — к.м.н., врач челюстно-лицевой хирург отделения челюстно-лицевой хирургии, доцент кафедры хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии НИИ стоматологии и ЧЛХ ФГБОУ ВО Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова Минздрава РФ. Адрес: 197022, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6-8; e-mail: n_petrov@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5182-1763>.

Елизавета Алексеевна Верещагина — студентка стоматологического факультета ФГБОУ ВО Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова Минздрава РФ. Адрес: 197022, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6-8; e-mail: vereshchaginabeta@gmail.com.

Железняк Игорь Сергеевич — д.м.н., профессор, ФГБВОУ ВПО Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова Министерства обороны РФ, начальник кафедры рентгенологии и радиологии с курсом ультразвуковой диагностики. Адрес: 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6, лит. Ж. ORCID: 0000-0001-7383-512X.

Information about the authors:

Anna Valeryevna Lysenko — Candidate of Medical Sciences, Head of the Outpatient Department of Dental and Maxillofacial Surgery, Director of the Centre of Digital and Additive Technologies of Research Institute of Dentistry and Maxillofacial surgery, FSBEI HE Academician I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University of the Ministry of Healthcare of Russian Federation, St. Petersburg, Russia. Associate

Professor of the Department of General Dentistry, Private Educational Institution of Additional Professional Education "Institute of Postgraduate Education in Dentistry of St. Petersburg". Address: 6-8 Lva Tolstogo str., 197022, Saint Petersburg; email: lysenko.anna@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5625-1085>.

Andrey Ilyich Yaremenko — Doctor of Medical Sciences, Professor, Chief of the Department of Dental and Maxillofacial Surgery, Vice-Rector for Academic Affairs of the Academician I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University of the Ministry of Healthcare of Russian Federation. Address: 6-8 Lva Tolstogo str., 197022, Saint Petersburg; email: hirstom_pspbmu@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7700-7724>.

Nikolai Leonidovich Petrov — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Dental and Maxillofacial Surgery, Academician I.P. Pavlov

First St. Petersburg State Medical University of the Ministry of Healthcare of Russian Federation. Address: 6-8 Lva Tolstogo str., 197022, Saint Petersburg; email: n_petrov@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5182-1763>.

Elizaveta Alekseevna Vereshchagina — Student of the Faculty of Dentistry, Academician I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University of the Ministry of Healthcare of Russian Federation. Address: 6-8 Lva Tolstogo str., 197022, Saint Petersburg; email: vereshchaginabeta@gmail.com.

Igor Sergeevich Zheleznyak — Doctor of Medical Sciences, Professor, Kirov Military Medical Academy, Ministry of Defense of the Russian Federation; Head of the Department of Radiology with a Course on Ultrasound Diagnostics. Address: 194044, Saint Petersburg, Akademika Lebedeva str., 6, lit. Zh. ORCID: 0000-0001-7383-512X.