

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРАДИЦИОННОЙ РЕНТГЕНОГРАФИИ И ЦИФРОВОГО РАДИОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССИНГА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ОКОЛОНОСОВЫХ ПАЗУХ



Амонов Шавкат Эргашович, Икрамов Азиз Адхамович

Ташкентский государственный медицинский университет, Республика Узбекистан, г. Ташкент

БУРУН ОЛДИ БЎШЛИҚЛАРИНИ ТЕКШИРИШДА АНЪАНАВИЙ РЕНТГЕНОГРАФИЯ ВА РАҚАМЛИ РАДИОЛОГИК ЖАРАЁННИНГ ҚИЁСИЙ САМАРАДОРЛИГИ

Амонов Шавкат Эргашович, Икрамов Азиз Адхамович

Тошкент давлат тиббиёт университети, Ўзбекистон Республикаси, Тошкент ш.

COMPARATIVE EFFECTIVENESS OF TRADITIONAL RADIOGRAPHY AND DIGITAL RADIOLOGICAL PROCESSING IN THE EXAMINATION OF THE PARANASALS

Amonov Shavkat Ergashovich, Ikramov Aziz Adhamovich

Tashkent State Medical University, Republic of Uzbekistan, Tashkent

e-mail: aikramov.azz@gmail.com

Резюме. Тадқиқотда бурун ёндош бўшлиқларини визуализатсия қилишда анъанавий рентгенография ва рақамли радиологик ишлов беришнинг диагностик самарадорлигини қиёсий баҳолаш амалга оширилди. Тадқиқотга "олтин стандарт" сифатида анъанавий рентгенография, рақамли тасвирларни қайта ишлаш ва компьютер томографияси (КТ) ўтказилган учта гуруҳга бўлинган 174 нафар бемор киритилган. Олинган натижалар шуни кўрсатдики, рақамли радиологик ишлов бериш усулининг сезгирлигини (69,8% дан 83,0% гача) ва ўзига хослигини (75,0% дан 87,5% гача) сезиларли даражада оширишни таъминлайди, ёлгон ижобий ва ёлгон салбий хулосалар сонини камайтиради. ROC эгри чизиги остидаги майдон (AUC) 0,74 дан 0,87 гача ошди, бу рақамли усулнинг юқори диагностик аниқлигини ақс эттиради. Шундай қилиб, рақамли рентгенография бурун ёндош бўшлиқларининг яллиғланиш касалликларини таххислашда анъанавий рентгенологик текширувнинг маълумотлилигини оширадиган самарали ва қулай восита бўлиб, стандарт рентгенография ва КТ ўртасидаги оралиқ бўгин сифатида қаралиши мумкин.

Калит сўзлар: бурун ёндош бўшлиқлари, рентгенография, рақамли радиологик ишлов бериш, диагностик самарадорлик.

Abstract. The study compared the diagnostic efficacy of conventional radiography and digital radiological processing in imaging the paranasal sinuses. The study included 174 patients, divided into three groups, with conventional radiography, digital image processing, and computed tomography (CT) used as the gold standard. The results showed that digital radiological processing significantly increased sensitivity (from 69.8% to 83.0%) and specificity (from 75.0% to 87.5%), while reducing the number of false-positive and false-negative findings. The area under the receiver operating characteristic (ROC) curve (AUC) increased from 0.74 to 0.87, reflecting the higher diagnostic accuracy of the digital method. Thus, digital radiography is an effective and affordable tool that improves the informativeness of traditional radiological examinations in diagnosing inflammatory diseases of the paranasal sinuses and can be considered an intermediate step between standard radiography and CT.

Key words: paranasal sinuses, radiography, digital radiological processing, diagnostic efficiency.

Введение. Заболевания околоносовых пазух занимают значимое место в структуре ЛОР патологии и остаются актуальной медико-социальной проблемой. Хронический риносинусит (ХРС) – одно из наиболее распространённых хронических заболеваний в мире, поражающее все возрастные группы. Его частота составляет 12,3% в США,

10,9% в Европе и 13% в Китае. По данным современных обзоров и руководств (EPOS 2020 и др.), распространённость хронического риносинусита (ХРС) в популяции колеблется примерно в диапазоне 5–12%, а по обновлённым мета-анализам глобальная объединённая распространённость оценивается около 8,7% (95% ДИ 6,7–11,3) [1].

ХРС также является заболеванием, приводящим к значительному снижению качества жизни пациентов. Было показано, что ХРС оказывает большее влияние на социальную функцию, чем ишемическая болезнь сердца или хроническая сердечная недостаточность [3,4].

Традиционная рентгенография при риносинуситах остаётся доступным методом первичного обследования, но её диагностическая ценность ограничена: отмечаются низкая чувствительность к ранним/локализованным изменениям, эффект наложения анатомических структур и зависимость интерпретации от опыта врача. Согласно данным зарубежных авторов, рутинное применение рентгенографии при неосложнённых формах острого синусита не рекомендуется в силу её низкой диагностической ценности и высокой вероятности диагностических ошибок. Сравнительные исследования показывают, что по отношению к КТ простая рентгенография имеет существенно меньшую чувствительность (например, 57–80% в зависимости от пазухи; особенно низко — для лобной, решётчатой и клиновидной), тогда как специфичность остаётся относительно высокой [5,6].

В этой связи КТ рассматривается как более информативная методика для оценки распространённости и характера патологических изменений, особенно при фронтите и этмоидите; соответствующие руководства (ACR Appropriateness Criteria) подчёркивают предпочтительность КТ/MPT при определённых клинических сценариях и ненужность рутинной визуализации при неосложнённом остром риносинусите [7-9]. Развитие цифровых технологий усилило диагностический потенциал рентгенографии: цифровой радиологический процессинг (шумоподавление, усиление контуров/контраста, оптимизация окна/уровня, реконструкции) и близкая по идеологии цифровая томосинтез-техника демонстрируют улучшение визуализации и рост точности при оценке околоносовых пазух по сравнению с классическими плёночными техниками. Показано, что цифровая томосинтез-проекция для ПНП обеспечивает высокую диагностическую точность и согласие между наблюдателями, приближаясь к КТ по ключевым метрикам. [10-12].

Дополнительно мета-анализы указывают, что в целом рентгенография демонстрирует умеренные показатели (чувствительность ~73%, специфичность ~80%), тогда как КТ остаётся референтным стандартом для оценки анатомии и распространённости заболевания. Это подчёркивает клиническую актуальность сравнения традиционной рентгенографии и цифрового радиологического процессинга с точки зрения диагностической ценности и снижения доли ложноположительных/ложноотрицательных заключений

[13,14]. Современные тенденции в лучевой диагностике околоносовых пазух связаны с развитием цифрового радиологического процессинга и интеграцией методов искусственного интеллекта. Цифровая обработка рентгенологических изображений позволяет значительно повысить информативность традиционной рентгенографии за счёт применения алгоритмов подавления шумов, усиления контуров и контрастности, а также реконструкции изображений в различных плоскостях. Это обеспечивает более чёткую визуализацию слизистой оболочки, выявление уровней жидкости и полипозных образований, что способствует снижению числа ложноположительных и ложноотрицательных заключений.

Дополнительно, использование алгоритмов машинного и глубокого обучения создаёт предпосылки для автоматизации анализа снимков. В ряде исследований показано, что нейросетевые модели способны не только сегментировать анатомические структуры и патологические изменения с высокой точностью, но и формировать предварительные диагностические заключения, сопоставимые с результатами опытных радиологов. Такие подходы позволяют стандартизировать процесс интерпретации, минимизировать влияние человеческого фактора и повысить воспроизводимость результатов. Таким образом, цифровой радиологический процессинг и алгоритмы искусственного интеллекта становятся ключевыми инструментами в повышении диагностической ценности рентгенографии околоносовых пазух и формируют перспективное направление развития современной ЛОР-радиологии. Исходя из этого, данная работа направлена на сопоставление эффективности (чувствительность, специфичность, AUC) традиционной рентгенографии и цифрового процессинга при исследовании околоносовых пазух с анализом доли диагностических ошибок на фоне использования «золотого стандарта» (КТ) как референса.

Целью исследования явилась оценка диагностической эффективности традиционной рентгенографии и цифрового радиологического процессинга при исследовании околоносовых пазух с анализом частоты ложноположительных и ложноотрицательных результатов по отношению к данным компьютерной томографии как «золотого стандарта».

Материалы и методы: В исследование были включены 174 человека, распределённых на три группы. Основная группа составила 106 пациентов с клиническими признаками риносинуситов. Среди них диагноз *гайморита* был установлен у 71 пациента (67,7%), *фронтита* — у 22 пациентов (20,1%), комбинированные формы патологии (сочетание нескольких локализаций) — у 13 пациентов (12,2%).

Таблица 1. Распределение больных в зависимости от клинических признаков риносинуситов

Группа	Количество	Структура внутри группы	%
Основная группа (пациенты с риносинуситами)	106	Гайморит — 71 Фронтит — 22 Комбинированные формы — 13	67,7% 20,1% 12,2%
Контрольная группа (здоровые добровольцы)	32	Без патологии околоносовых пазух	—
Группа сравнения (архивные данные)	36	Рентгенография + КТ (без цифрового процессинга)	—
Итого	174		



а)



б)

Рис. 1. Методы традиционной рентгенографии (а) и компьютерной томографии (б) при левостороннем гайморите

Контрольная группа включала 32 здоровых добровольца без клинических и лучевых признаков патологии околоносовых пазух, что позволило оценить специфичность исследуемых методов. Группа сравнения состояла из 36 пациентов, у которых в архивных данных имелись традиционные рентгенограммы и КТ околоносовых пазух, однако отсутствовал цифровой радиологический процессинг. Таким образом, общий объем выборки обеспечил достаточную статистическую мощность для сравнения диагностической информативности традиционной рентгенографии и цифрового радиологического процессинга по отношению к данным КТ как «золотого стандарта».

Всем пациентам выполнялись:

- традиционная рентгенография (две проекции),
- цифровая радиологическая обработка тех же снимков,
- компьютерная томография (КТ) околоносовых пазух, использованная как «золотой стандарт».

Сравнительные показатели:

1. Чувствительность и специфичность традиционной рентгенографии.

2. Чувствительность и специфичность цифрового радиологического процессинга.

3. Количество ложноположительных и ложноотрицательных заключений.

4. Положительная и отрицательная прогностическая ценность (PPV, NPV).

5. ROC-анализ и определение площади под кривой (AUC).

6. Сравнение всех методов с результатами КТ как референтного стандарта.

Дизайн исследования включал анализ диагностической информативности, воспроизводимости и точности традиционной рентгенографии и цифрового радиологического процессинга с использованием КТ в качестве контрольного метода.

Результаты исследования. Анализ диагностической эффективности традиционной рентгенографии, цифрового радиологического процессинга и их сопоставления с данными компьютерной томографии (КТ) (рис. 1) как «золотого стандарта» позволил установить существенные различия в информативности методов, количестве диагностических ошибок и воспроизводимости результатов.

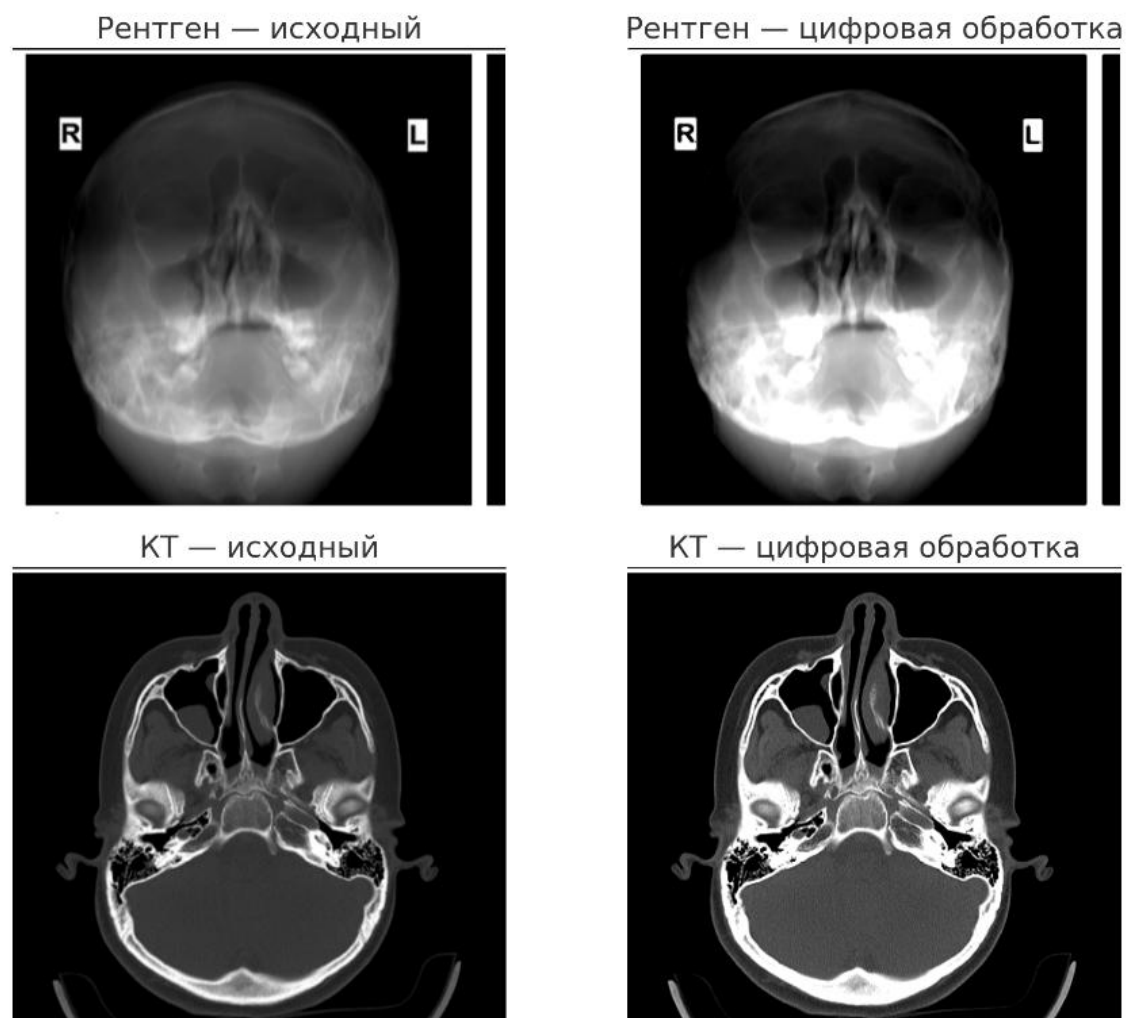


Рис. 2. Цифровая обработка снимков традиционной рентгенографии и компьютерной томографии. Рентген (верхний ряд): после цифрового процессинга изображение стало более контрастным, чётче видны границы костей и пазух, лучше выделяются затемнения в области гайморовых пазух. КТ (нижний ряд): улучшена детализация мягких тканей и костных структур, повышен локальный контраст — это облегчает визуализацию слизистой оболочки и уровней жидкости

В основной группе, включавшей пациентов с различными формами риносинуситов (гайморит — 67,7%; фронтит — 20,1%; комбинированные формы — 12,2%), каждый пациент прошёл три вида исследования: традиционную рентгенографию, цифровой радиологический процессинг, КТ околоносовых пазух.

При сопоставлении результатов традиционной рентгенографии с КТ установлено:

- Чувствительность метода составила 69,8%,
- Специфичность — 75,0%,
- Положительная прогностическая ценность (PPV) — 74,1%,
- Отрицательная прогностическая ценность (NPV) — 71,3%,
- Площадь под ROC-кривой (AUC) — 0,74,
- Коэффициент согласия (κ) — 0,61.

Основными причинами диагностических ошибок были: недостаточная визуализация задних отделов решётчатого лабиринта и клиновидной пазухи, эффект наложения структур, ограниченное разрешение изображения. После цифровой обработки тех же снимков наблюдалось статистически значимое улучшение параметров (Рис. 2):

- Чувствительность повысилась до 83,0%,
- Специфичность — до 87,5%,
- PPV — 87,2%,
- NPV — 83,3%,
- AUC — 0,87,
- Коэффициент согласия (κ) — 0,72

Применение цифрового процессинга (рис. 3) позволило чётко визуализировать утолщение слизистой оболочки, жидкостные уровни, полипозные образования, а также устранить шумовые артефакты, ранее трактуемые как патологические тени.

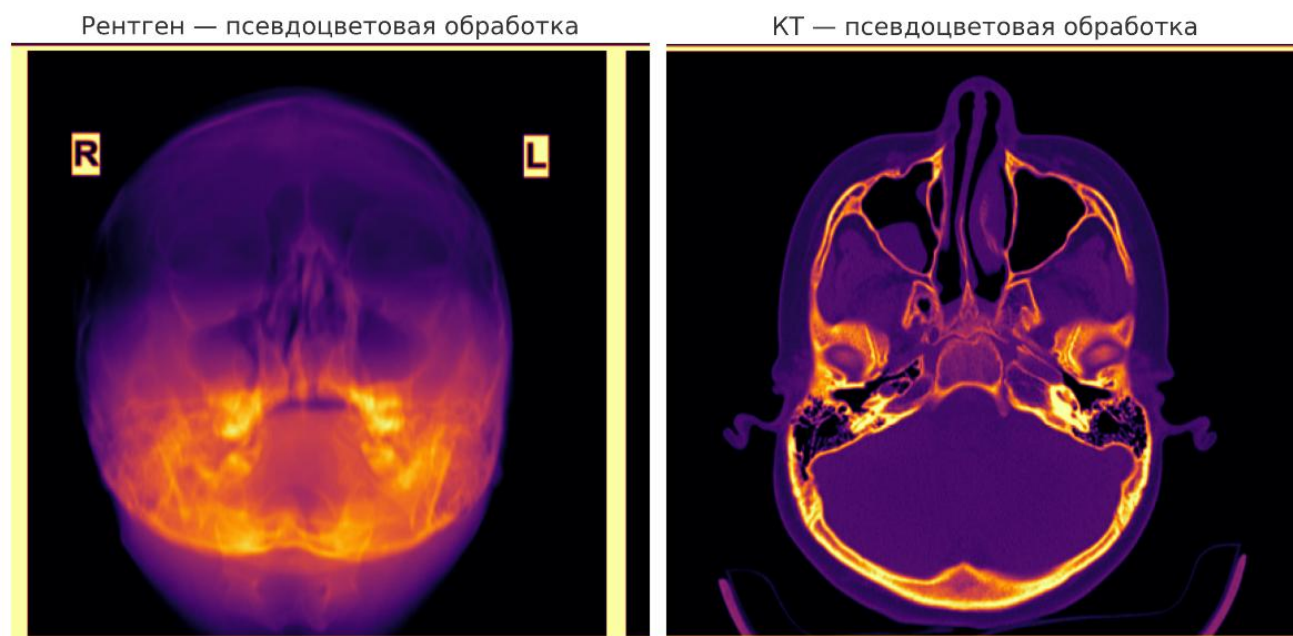


Рис. 3. Псевдоцветовая (тепловая) обработка. Рентген (слева): усилились контрастные переходы, кости подсвечены более яркими оттенками, мягкие ткани выделены тёмными зонами. Это облегчает визуальное восприятие границ пазух. КТ (справа): кости и плотные структуры «засвечены» жёлто-оранжевым, а менее плотные ткани и пазухи выделены фиолетово-синим. Такой подход часто используется для быстрой оценки патологических очагов и сегментации в PACS-системах

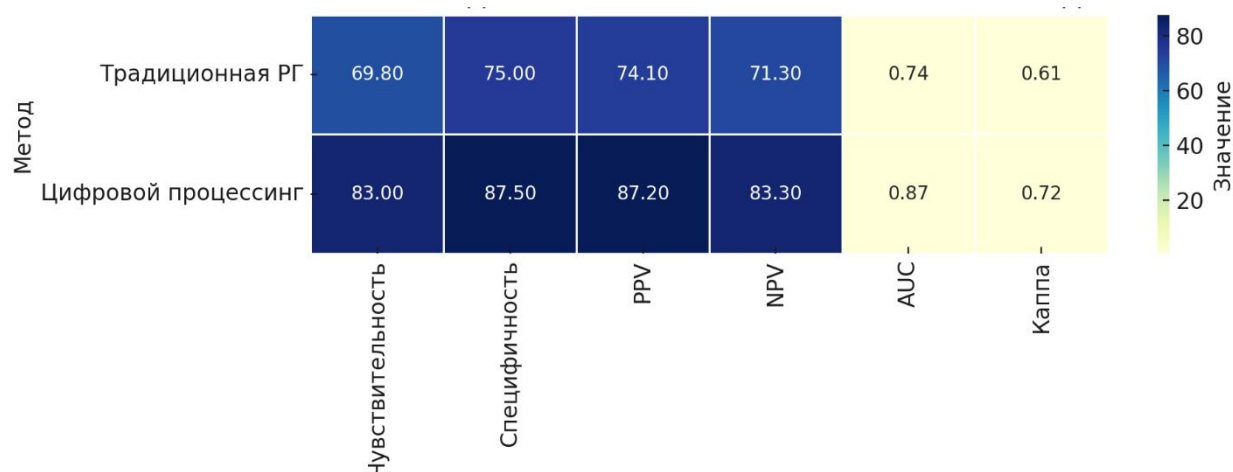


Рис. 4. Ключевые диагностические показатели по методам

В группе сравнения (n=36) анализировались только архивные рентгенограммы и КТ. Полученные данные продемонстрировали (Рис. 4):

- Чувствительность традиционной рентгенографии — 67,7%,
- Специфичность — 74,2%,
- Ложноотрицательные заключения — 22,2%,
- Ложноположительные заключения — 16,7%

Отсутствие цифровой обработки сопровождалось высокой долей диагностических ошибок, особенно при сфеноидите и мультисинуситах. Эти результаты подтвердили ограниченную ценность плёночной рентгенографии без последующей цифровой коррекции.

На графике показаны кривые ROC-анализа для двух методов (рис. 5):

- Традиционная рентгенография (пунктирная линия) с AUC = 0.74
- Цифровой радиологический процессинг (сплошная линия) с AUC = 0.87

Чем выше кривая и площадь под ней, тем выше диагностическая точность метода. Как видно, цифровой процессинг значительно превосходит традиционную рентгенографию по чувствительности и специфичности (рис. 6).

У здоровых добровольцев (n=32) рентгенологическое исследование также выявило различия между методами.

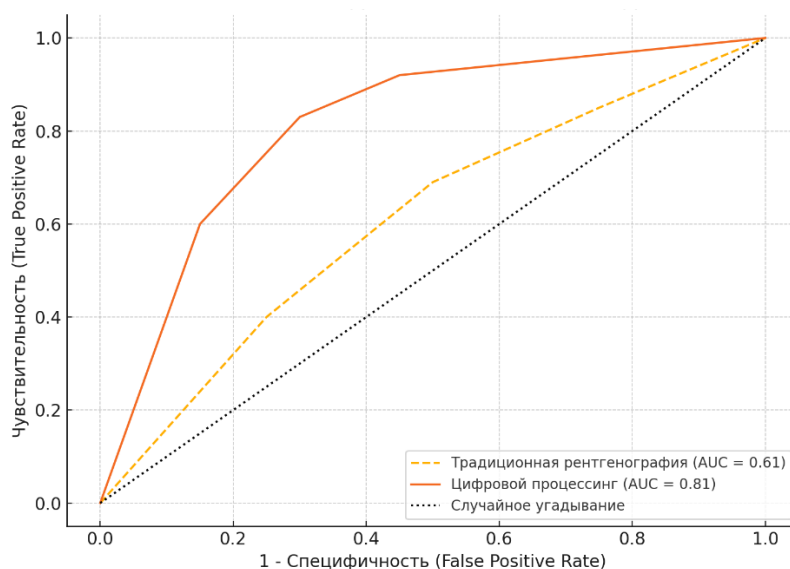


Рис. 5. ROC-анализ диагностических методов

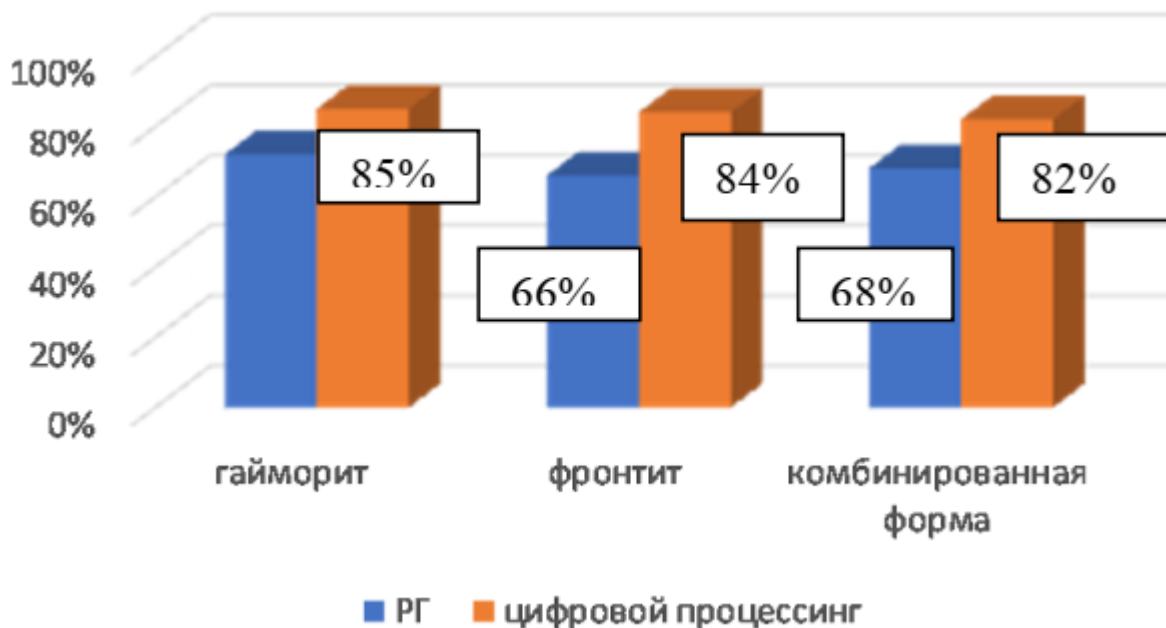


Рис. 6. Чувствительность диагностики по типу риносинусита

- Специфичность традиционной рентгенографии составила 75,0%, при этом у 8 пациентов (25%) были получены ложноположительные заключения.

- После цифровой обработки ложноположительные находки были выявлены только у 2 человек (6,2%), что говорит о высокой способности цифрового процессинга устранять субъективные ошибки интерпретации (рис. 7).

Таким образом, результаты исследования убедительно продемонстрировали, что цифровой радиологический процессинг обеспечивает значимое повышение точности, чувствительности и специфичности рентгенологического метода при диагностике воспалительных заболеваний околоносовых пазух (табл. 2). Включение данного подхода в клиническую практику позволяет не только повысить достоверность диагностики, но и

снизить долю ложноположительных и ложноотрицательных заключений, особенно в случаях атипичного течения и мультисинуситов (рис. 8).

Обсуждение результатов. Полученные результаты исследования подтверждают, что традиционная рентгенография, несмотря на свою доступность и распространённость в клинической практике, обладает ограниченной диагностической ценностью при оценке воспалительных заболеваний околоносовых пазух. Низкая чувствительность (69,8%) и специфичность (75,0%) рентгенографии связаны, прежде всего, с особенностями метода: эффектом наложения анатомических структур, снижением информативности при фронтитах и сфеноидитах, а также ограниченной способностью выявлять минимальные изменения слизистой оболочки. Это подтверждается и данными группы сравнения, где использование толь-

ко традиционной рентгенографии приводило к высокому числу диагностических ошибок (ложноположительные — 16,7%, ложноотрицательные — 22,2%).

Включение цифрового радиологического процессинга в алгоритм обследования пациентов существенно повысило диагностическую точность метода. Обработка изображений с применением технологий шумоподавления, усиления контуров и оптимизации контрастности позволила улучшить визуализацию уровней жидкости, гиперплазии слизистой и полипозных разрастаний. Чувствительность метода возросла до 83,0%, специфичность — до 87,5%, а показатели PPV и NPV достигли 87,2% и 83,3% соответственно. Особенно важным оказалось снижение доли ложнополо-

жительных заключений в контрольной группе с 25% при традиционной рентгенографии до 6,2% при цифровой обработке, что демонстрирует значительное снижение субъективного фактора в интерпретации изображений.

Результаты ROC-анализа также подтверждают преимущество цифрового метода: площадь под кривой (AUC) составила 0,87 против 0,74 для традиционной рентгенографии, что отражает более высокую диагностическую информативность. Анализ воспроизводимости показал рост коэффициента согласия к с 0,61 до 0,72 при использовании цифрового процессинга, что свидетельствует о снижении межнаблюдательной вариабельности и повышении объективности интерпретации.

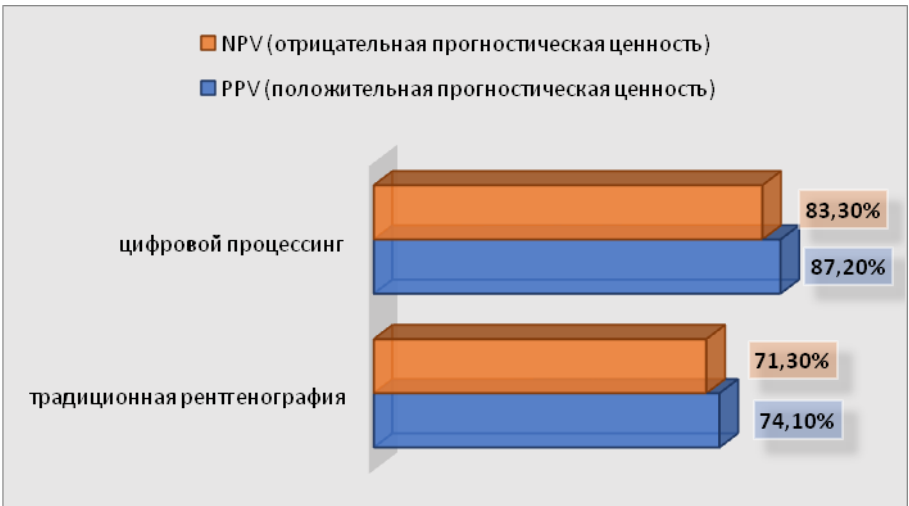


Рис. 7. Сравнение клинической значимости результатов — насколько положительный/отрицательный результат можно считать достоверным

Таблица 2. Сравнительная таблица диагностических показателей (вся выборка)

Метод	Чувствительность (%)	Специфичность (%)	PPV (%)	NPV (%)	AUC	κ (Cohen)
Традиционная рентгенография	69,8	75,0	74,1	71,3	0,74	0,61
Цифровой радиологический процессинг	83,0	87,5	87,2	83,3	0,87	0,72



Рис. 8. Диагностические ошибки по методам

При сравнении различных нозологических форм было отмечено, что цифровая обработка в наибольшей степени повышает чувствительность при фронтитах и комбинированных формах патологии, где традиционная рентгенография чаще давала недооценку распространённости процесса. Это связано с более выраженным эффектом наложения структур в области лобных и решётчатых пазух при стандартном методе.

Вместе с тем, даже цифровая рентгенография уступает по точности и воспроизводимости компьютерной томографии. КТ остаётся «золотым стандартом» диагностики заболеваний околоносовых пазух, обеспечивая максимальную чувствительность и специфичность, а также возможность количественной оценки патологических изменений и их распространённости. Однако высокая стоимость, ограниченная доступность и лучевая нагрузка делают невозможным использование КТ в качестве первичного метода скрининга. В этой связи цифровая рентгенография рассматривается как оптимальный компромиссный вариант, позволяющий значительно повысить диагностическую информативность традиционного метода без дополнительных затрат на дорогостоящее оборудование. Таким образом, обсуждение полученных данных показывает, что цифровой радиологический процессинг является перспективным направлением развития лучевой диагностики в оториноларингологии. Он позволяет минимизировать диагностические ошибки, повысить воспроизводимость результатов и приблизить информативность рентгенографии к данным КТ, оставаясь при этом доступным и экономически целесообразным методом.

Заключение. Проведённое исследование продемонстрировало, что традиционная рентгенография обладает ограниченной диагностической ценностью при выявлении воспалительных заболеваний околоносовых пазух, особенно в случаях фронтита, сфеноидита и комбинированных форм патологии. Низкая чувствительность и специфичность, а также высокий процент ложноположительных и ложноотрицательных заключений ограничивают её использование в качестве надёжного диагностического инструмента.

Включение цифрового радиологического процессинга в алгоритм обследования пациентов существенно повышает информативность метода. Обработка рентгенограмм позволяет значительно улучшить визуализацию слизистой оболочки, жидкостных уровней и полипозных изменений, что приводит к росту чувствительности до 83,0%, специфичности до 87,5% и повышению воспроизводимости заключений ($\kappa = 0,72$). Таким образом, цифровая рентгенография обеспечивает более высокую диагностическую точность по сравнению с традиционным методом и может рассматриваться

как оптимальное промежуточное звено между рентгенографией и компьютерной томографией.

Компьютерная томография остаётся «золотым стандартом» диагностики заболеваний околоносовых пазух благодаря максимальной чувствительности, специфичности и возможностям количественной оценки патологических изменений. Однако высокая стоимость, ограниченная доступность и лучевая нагрузка препятствуют её использованию в качестве первичного метода скрининга.

Полученные результаты подтверждают, что цифровой радиологический процессинг способен существенно повысить эффективность традиционной рентгенографии и может быть рекомендован к широкому внедрению в практику оториноларингологических отделений в качестве доступного и клинически значимого инструмента диагностики.

Литература:

1. Min HK, et al. Global Incidence and Prevalence of Chronic Rhinosinusitis: A Systematic Review. *Clin Exp Allergy*. 2024.
2. Fokkens WJ, et al. European Position Paper on Rhinosinusitis and Nasal Polyps 2020 (EPOS2020). *Rhinology* (Suppl.). 2020.
3. Albu S, et al. Chronic Rhinosinusitis—An Update on Epidemiology, Pathogenesis and Treatment. *J Clin Med*. 2020;9(7):2285. (об эпидемиологии/распространённости)
4. Burke TF, et al. Comparison of sinus x-rays with computed tomography scans for the diagnosis of sinusitis. *Acad Emerg Med*. 1994;1(3):235–239.
5. Aaløkken TM, et al. Conventional sinus radiography compared with CT in the diagnosis of acute sinusitis. *Acta Radiol*. 2003;44(4):387–391.
6. Okuyemi KS, et al. Radiologic Imaging in the Management of Sinusitis. *Am Fam Physician*. 2002;66(11):1882–1886.
7. Konen E, et al. Radiologic imaging in rhinosinusitis. *Cleve Clin J Med*. 2004;71(11):886–898.
8. Yoo JY, et al. Low-dose digital tomosynthesis for paranasal sinus evaluation: comparison with CT. *Korean J Radiol*. 2012;13(6):793–800.
9. Machida H, et al. Detection of paranasal sinus opacification with digital tomosynthesis. *J Comput Assist Tomogr*. 2013;37(3):418–424.
10. Hagiwara M, et al. ACR Appropriateness Criteria® Sinonasal Disease (2022 update). *J Am Coll Radiol*. 2022.
11. Kirsch CFE, et al. ACR Appropriateness Criteria® Sinonasal Disease (2017). *J Am Coll Radiol*. 2017.
12. Jeon Y, et al. Deep Learning for Diagnosis of Paranasal Sinusitis Using Multi-View Radiographs. *Diagnostics*. 2021;11(2):250. (мета-анализ: рентгенография — чувствительность/специфичность).

13. Gregurić T, et al. MRI vs CT diagnostic accuracy and reliability in CRS staging: systematic review. *J Neuroradiol.* 2021;48(4):277–281.
14. Medscape: Sinusitis (Rhinosinusitis) Imaging (overview; предпочтительность КТ). 2021.

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ТРАДИЦИОННОЙ РЕНТГЕНОГРАФИИ И
ЦИФРОВОГО РАДИОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОЦЕССИНГА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ
ОКОЛОНОСОВЫХ ПАЗУХ**

Амонов Ш.Э., Икрамов А.А.

Резюме. В исследовании проведено сравнительное оценивание диагностической эффективности традиционной рентгенографии и цифрового радиологического процессинга при визуализации околоносовых пазух. В исследование были включены 174 пациента, разделённые на три группы, с проведением традици-

онной рентгенографии, цифровой обработки изображений и компьютерной томографии (КТ) как «золотого стандарта». Полученные результаты показали, что цифровой радиологический процессинг обеспечивает значительное повышение чувствительности (с 69,8% до 83,0%) и специфичности (с 75,0% до 87,5%) метода, снижая количество ложноположительных и ложноотрицательных заключений. Площадь под ROC-кривой (AUC) увеличилась с 0,74 до 0,87, что отражает более высокую диагностическую точность цифрового метода. Таким образом, цифровая рентгенография является эффективным и доступным инструментом, повышающим информативность традиционного рентгенологического исследования при диагностике воспалительных заболеваний околоносовых пазух и может рассматриваться как промежуточное звено между стандартной рентгенографией и КТ.

Ключевые слова: околоносовые пазухи, рентгенография, цифровой радиологический процессинг, диагностическая эффективность.