



## 3D-моделирование на основании совмещенной позитронно-эмиссионной и компьютерной томографии в выявлении опухолевой инвазии парагастральной клетчатки при раке желудка: пилотное исследование

Т.В. Хоробрых<sup>1</sup>, Е.В. Поддубская<sup>1</sup>, В.Г. Агаджанов<sup>1</sup>, Л.М. Тулина<sup>1,2</sup>, И.В. Ивашов<sup>1,✉</sup>,  
А.В. Грачалов<sup>1</sup>, М.А. Цай<sup>2</sup>, Я.А. Драч<sup>3</sup>, З.А. Омарова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет)  
ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2, г. Москва, 119048, Россия

<sup>2</sup>Центр ядерной медицины «ПЭТ-Технологии» в Москве «Сеченовский университет»  
ул. Большая Пироговская, д. 2, стр. 8, г. Москва, 119435, Россия

<sup>3</sup>ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1, г. Москва, 105005, Россия

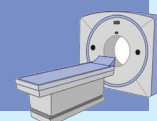
СЕЧЕНОВСКИЙ  
ВЕСТНИК  
ГРАФИЧЕСКИЙ АБСТРАКТ



3D-моделирование на основании совмещенной позитронно-эмиссионной и компьютерной томографии в выявлении опухолевой инвазии парагастральной клетчатки при раке желудка: пилотное исследование

### Выводы

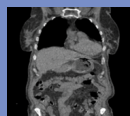
Совмещенная ПЭТ-КТ, дополненная 3D-визуализацией DICOM-файлов с помощью программы 3D Slicer, позволяет точно определить опухолевую инвазию парагастральной клетчатки при местнораспространенном раке желудка.



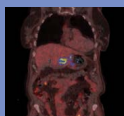
### Материалы и методы



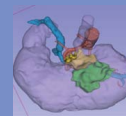
4 мужчин  
и 4 женщины  
Возраст: от 51 до 81 года



Проведение ПЭТ-КТ  
исследования  
(до и после операции)



3D Slicer  
(разметка границ опухоли)



Оценка точности  
(сравнение по вокселям)

### Результаты

#### Результаты ПЭТ-КТ и КТ исследований

| Параметры                  | ПЭТ-КТ (95%ДИ)      | КТ (95%ДИ)       |
|----------------------------|---------------------|------------------|
| Чувствительность           | 0,88 (0,76–0,97)    | 0,88 (0,47–1,0)  |
| Специфичность              | 0,91 (0,80–0,99) ▲▲ | 0,75 (0,35–0,97) |
| Коэффициент схождения Dice | 0,85 (0,74–0,92) ▲  | 0,82 (0,59–0,94) |
| Индекс Жаккарда            | 0,76 (0,65–0,86) ▲  | 0,70 (0,40–0,89) |
| Расстояние Хаусдорфа, мм   | 5,2 (4,1–6,8) ▼     | 8,1 (6,3–9,5)    |

Хоробрых Т.В., Поддубская Е.В., Агаджанов В.Г. и др. 3D-моделирование на основании совмещенной позитронно-эмиссионной и компьютерной томографии в выявлении опухолевой инвазии парагастральной клетчатки при раке желудка: пилотное исследование. Сеченовский вестник. 2025; 16(2): 39–51.  
<https://doi.org/10.47093/2218-7332.2025.16.2.39-51>

15 минут  
на чтение



### Аннотация

**Цель.** Оценить диагностические возможности совмещенной позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) с накоплением 18-фтордезоксиглюкозы и компьютерной томографии (КТ), дополненных 3D-визуализацией DICOM-файлов с помощью программы 3D Slicer, в выявлении опухолевой инвазии парагастральной клетчатки при местнораспространенном раке желудка.

**Материалы и методы.** Проведено открытое проспективное исследование в рамках научно-исследовательского проекта «SmartGastro». В исследование включены 4 женщины и 4 мужчин в возрасте от 51 до 81 года с ги-

стологически подтвержденным диагнозом «рак желудка». Всем пациентам выполняли совмещенную ПЭТ-КТ по протоколу «Whole body» на 60–80-й минуте после введения радиофармпрепарата (РФП). Обработка полученных результатов включала визуальный анализ КТ- и ПЭТ-изображений как по отдельности, так и совмещенных сканов, а также 3D-реконструкцию на основании денситометрического анализа DICOM-данных. Все пациенты были прооперированы. Удаленный макропрепарат поэтапно иссечен по периметру с последующим гистологическим исследованием краев резекции (парагастральной клетчатки). Во всех случаях подтверждена радикальность вмешательства R0. Первичную разметку границ опухоли по ПЭТ-КТ и КТ сравнивали по вокселям со вторичной разметкой, выполненной на основании визуального анализа удаленного макропрепарата.

**Результаты.** Компрометированная периопухолевая паракардиальная клетчатка по КТ в 5 из 8 наблюдений соответствовала зонам накопления РФП по ПЭТ. Участки повышенного накопления РФП в периопухолевой клетчатке и повышение денситометрической плотности этих же участков по данным КТ соответствовали истинной инвазии, подтвержденной при вторичной разметке, в 6 из 8 случаев. Чувствительность первичной разметки по совмещенной ПЭТ-КТ в сравнении по вокселям со вторичной разметкой составила 0,88 (95% доверительный интервал (ДИ) 0,76–0,97), специфичность – 0,91 (95% ДИ 0,80–0,99), расхождение границ опухоли, рассчитанное по расстоянию Хаусдорфа, составило 5,2 мм при средних размерах опухоли 38×30×39 мм.

**Заключение.** Совмещенная ПЭТ-КТ позволяет точно определить области компрометированного мезослоя жировой клетчатки. Создание 3D-моделей компрометированных опухолевым процессом парагастральных тканей в сочетании с визуализацией опухоли желудка и сосудов способствует комплексному предоперационному планированию онкологических операций.

**Ключевые слова:** опухоль желудка; мезогастральная клетчатка; ПЭТ-КТ; 18-фтордезоксиглюкоза; медицинская визуализация; 3D-реконструкция

#### **Рубрики MeSH:**

МЕСТНОРАСПРОСТРАНЕННЫЕ НОВООБРАЗОВАНИЯ – ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ

ЖЕЛУДКА НОВООБРАЗОВАНИЯ – ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ

ПОЗИТРОННО-ЭМИССИОННОЙ ТОМОГРАФИИ КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ – МЕТОДЫ

ТОМОГРАФИЯ РЕНТГЕНОВСКАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ – МЕТОДЫ

НОВООБРАЗОВАНИЙ ИНВАЗИВНОСТЬ

ЖЕЛУДКА НОВООБРАЗОВАНИЯ – ПАТОЛОГИЯ

**Для цитирования:** Хоробрых Т.В., Поддубская Е.В., Агаджанов В.Г., Тулина Л.М., Ивашов И.В., Грачалов А.В., Цай М.А., Драч Я.А., Омарова З.А. 3D-моделирование на основании совмещенной позитронно-эмиссионной и компьютерной томографии в выявлении опухолевой инвазии парагастральной клетчатки при раке желудка: пилотное исследование. Сеченовский вестник. 2025; 16(2): 39–51. <https://doi.org/10.47093/2218-7332.2025.16.2.39-51>

#### **КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ:**

**Ивашов Иван Валерьевич**, к.м.н., доцент кафедры факультетской хирургии № 2 им. Г.И. Лукомского, ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет)

**Адрес:** ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2, г. Москва, 119048, Россия

**E-mail:** i.ivashov@yandex.ru

**Соответствие принципам этики.** Исследование одобрено Локальным этическим комитетом ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет) № 09-24 от 04.04.2024. Все пациенты дали письменное информированное согласие на участие в исследовании.

**Доступ к данным исследования.** Данные, подтверждающие выводы этого исследования, можно получить у авторов по обоснованному запросу. Данные и статистические методы, представленные в статье, прошли статистическое рецензирование редактором журнала – сертифицированным специалистом по биостатистике.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки (собственные ресурсы).

**Благодарности.** Авторы статьи выражают благодарность специалистам по лучевой диагностике Муравлеву Алексею Павловичу (Университетская клиническая больница № 4 Клинического центра ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет)) и Кондрашиной Ольге Сергеевне (НМИЦ акушерства, гинекологии и перинатологии им. акад. В.И. Кулакова) за помощь в консультации, интерпретации полученных диагностических данных.

**Поступила:** 14.12.2024

**Принята:** 27.03.2025

**Дата печати:** 29.07.2025

## Assessing 3D-modeling techniques based on a combination of positron emission tomography-and computed tomography as a means to detect tumor invasion of the paragastric tissue in gastric cancer: a pilot study

Tatiana V. Khorobrykh<sup>1</sup>, Elena V. Poddubskaya<sup>1</sup>, Vadim G. Agadzhanov<sup>1</sup>,  
Larisa M. Tulina<sup>1,2</sup>, Ivan V. Ivashov<sup>1,✉</sup>, Anton V. Grachalov<sup>1</sup>, Maria A. Tsai<sup>2</sup>,  
Iaroslav A. Drach<sup>3</sup>, Zurnud A. Omarova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)  
8/2, Trubetskaya str., Moscow, 119048, Russia

<sup>2</sup>PET-Technologies Nuclear Medicine Center in Moscow "Sechenov University"  
2/8, Bolshaya Pirogovskaya str., Moscow, 119435, Russia

<sup>3</sup>Bauman Moscow State Technical University  
5/1, 2nd Baumanskaya str., Moscow, 105005, Russia

### Abstract

**Aim.** To evaluate the diagnostic capabilities of combined positron emission tomography (PET) with accumulation of 18-fluorodeoxyglucose and computed tomography (CT) data, with additional 3D-visualization of CT DICOM files using the 3D Slicer software, in detecting tumor invasion of the paragastric tissue in locally advanced gastric cancer.

**Materials and methods.** A prospective open-label study was conducted as part of the research project "SmartGastro". Four women and four men aged 51 to 81 years with a histologically confirmed diagnosis of gastric cancer underwent combined PET/CT following the "Whole Body" protocol at 60–80 minutes after the administration of the radiopharmaceutical agent (RPA). The obtained results were analyzed through visual assessment of CT and PET images separately, as well as through fused scans, followed by 3D reconstruction based on CT DICOM data. All patients underwent surgery. The resected macroscopic specimen was stepwise excised along its perimeter, followed by a histological examination of the resection margins (paragastric fat tissue). In all cases, R0 resection was confirmed, indicating radical tumor removal. The initial delineation of tumor boundaries based on PET-CT and CT imaging was compared voxel-by-voxel with the secondary delineation performed through a visual assessment of the excised macroscopic specimen.

**Results.** In 5 out of 8 cases, compromised peritumoral paracardial tissue detected on CT corresponded to regions of radiopharmaceutical agent uptake on PET. Areas demonstrating increased RPA accumulation in the peritumoral tissue, along with a corresponding rise in densitometric values on CT, were indicative of true invasion. This was confirmed by a histological examination of the resected specimen, in 6 out of 8 cases. The sensitivity of combined PET/CT, assessed on a voxel-by-voxel basis against postoperative pathological findings, was 0.88 (95% confidence interval (CI): 0.76–0.97), while specificity reached 0.91 (95% CI: 0.80–0.99). The discrepancy in tumor boundaries between these modalities, determined using the Hausdorff distance, was 5.2 mm, with a mean tumor size of 38×30×39 mm.

**Conclusion.** Combined PET/CT enables the surgeon to identify precisely a compromised mesolayer adipose tissue. The construction of 3D-models of perigastric tissues affected by the tumor process, combined with the visualization of the gastric tumor and associated vasculature, facilitates comprehensive preoperative planning for oncological surgery.

**Keywords:** gastric tumor; mesogastric tissue; PET/CT; 18-fluorodeoxyglucose; medical imaging; 3D-reconstruction

### MeSH terms:

LOCALLY ADVANCED CANCER – DIAGNOSTIC IMAGING

STOMACH NEOPLASMS – DIAGNOSTIC IMAGING

POSITRON EMISSION TOMOGRAPHY COMPUTED TOMOGRAPHY – METHODS

TOMOGRAPHY, X-RAY COMPUTED – METHODS

NEOPLASM INVASIVENESS

STOMACH NEOPLASMS – PATHOLOGY

**For citation:** Khorobrykh T.V., Poddubskaya E.V., Agadzhanov V.G., Tulina L.M., Ivashov I.V., Grachalov A.V., Tsai M.A., Drach I.A., Omarova Z.A. Assessing 3D-modeling techniques based on a combination of positron emission tomography-and computed tomography as a means to detect tumor invasion of the paragastric tissue in gastric cancer: a pilot study. Sechenov Medical Journal. 2025; 16(2): 39–51. <https://doi.org/10.47093/2218-7332.2025.16.2.39-51>

## CONTACT INFORMATION:

**Ivan V. Ivashov**, Cand. of Sci. (Medicine), Associate Professor, Department of Faculty Surgery No. 2 named after G.I. Lukomsky, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)

**Address:** 8/2, Trubetskaya str., Moscow, 119048, Russia

**E-mail:** i.ivashov@yandex.ru

**Ethics statements.** The study was approved by the Local Ethics Committee of Federal State Autonomous Educational Institution of Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), No. 09-24 from 04.04.2024. All patients signed an informed consent to participate in the study.

**Data availability.** The data confirming the findings of this study are available from the authors upon request. Data and statistical methods used in the article were examined by a professional biostatistician who sits on the Sechenov Medical Journal editorial staff.

**Conflict of interests.** The authors declare that there is no conflict of interest.

**Funding.** The study was self-funded.

**Acknowledgments.** The authors would like to express their gratitude to Alexey P. Muravlev, a specialist in radiation diagnostics (Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)), and Olga S. Kondrashina (Kulakov Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology) for their assistance in consulting and interpreting the diagnostic data obtained.

**Received:** 14.12.2024

**Accepted:** 27.03.2025

**Date of publication:** 29.07.2025

**Список сокращений**

ДИ – доверительный интервал

КТ – компьютерная томография

ПЭТ – позитронно-эмиссионная томография

РФП – радиофармпрепарат

**КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Совмещенная позитронно-эмиссионная томография с накоплением 18-фтордезоксиглюкозы характеризуется высокой чувствительностью (88%) и специфичностью (91%) в выявлении опухолевой инвазии парагастральной клетчатки при местнораспространенном раке желудка.

3D-моделирование опухоли желудка, парагастральной клетчатки и ангиоархитектоники на основе DICOM-файлов позволяет точно установить границы опухолевого процесса.

Комбинированная разметка с использованием позитронно-эмиссионной томографии и 3D-реконструкции на основе DICOM-данных компьютерной томографии превосходит разметку с помощью стандартной компьютерной томографии и не отличается от эталонной гистологической разметки.

Рак желудка – четвертая по значимости причина в структуре смертности от злокачественных новообразований и пятая по распространенности в мире. Прогноз зависит от стадии заболевания. На момент постановки диагноза более чем у половины пациентов выявляется местнораспространенный процесс или отдаленные метастазы [1].

Диагностика рака желудка основана на совокупности инструментальных методов, таких как эзофагогастродуоденоскопия с биопсией, компьютерная томография (КТ) с внутривенным контрастированием, эндосонография, диагностическая лапароскопия с цитологическим исследованием перитонеальных смывов [2, 3]. В последние годы появился метод совмещенной позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) и КТ, который позволяет одновременно оценить морфологические и функциональные изменения. Данный метод можно использовать как для дооперационной оценки распространенности опухолей желудка, так и для оценки эффективности лечения. Совмещенная ПЭТ-КТ в предоперационной диагностике выполняется в тех случаях, когда стадирование стандартными методами исследования невозможно [4–7].

КТ с внутривенным контрастированием остается «золотым стандартом» диагностики и стадирования рака желудка и входит в список обязательных дооперационных исследований [8]. По данным литературы, чувствительность КТ в определении размеров первичной опухоли, при местнораспространенных процессах составляет от 68 до 85%, а при поражении регионарных лимфатических узлов – от 72 до 87%. Признаки вовлеченности клетчатки обычно ограничиваются визуальным анализом и ее описанием в виде перинодальных изменений, отека, уплотнения, тяжести [9]. При анализе снимков КТ местнораспространенного рака желудка отмечается увеличение плотности парагастральной клетчатки, что визуально проявляется в виде крупной/мелкой тяжести и измененных лимфатических узлов. Денситометрическая плотность этих участков клетчатки часто приближается к плотности опухоли, что затрудняет дифференцировку границ стенки желудка и окружающих тканей [10]. Разметка и реконструкция таких участков, а также их корреляция с уровнем накопления радиофармпрепарата (РФП) по данным ПЭТ и истинной морфологической картины может позволить визуализировать пути лимфооттока

и создать персональную модель опухолевого процесса с целью предоперационной визуализации.

В связи с активным внедрением в онкологию методик эмбрионально-ориентированной хирургии понимание границ эмбрионального слоя позволяет резецировать орган в пределах его «зародышевых» фасциальных слоев, служащих естественными барьерами для опухолевых клеток. При этом в понятие мезогастрэктомии входит резекция не только отдельных лимфатических узлов, но и парагастральной клетчатки, лимфатических и кровеносных сосудов в ней [11–13].

**Цель исследования:** оценить диагностические возможности совмещенной ПЭТ-КТ с <sup>18</sup>Ф-фтордезоксиглюкозой и КТ, дополненными 3D-визуализацией DICOM-файлов с помощью программы 3D Slicer, в выявлении опухолевой инвазии парагастральной клетчатки при местнораспространенном раке желудка.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено открытое проспективное исследование в рамках научно-исследовательского проекта «SmartGastro». Проводился сплошной набор пациентов из числа госпитализированных с впервые диагностированным раком желудка в клинику факультетской хирургии № 2 им. Г.И. Лукомского ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет) в период с 1 марта 2021 г. по 30 октября 2024 г.

### Набор пациентов

На рисунке 1 представлена потоковая диаграмма, отражающая включение пациентов в исследование. Осуществлялся сплошной набор пациентов. Всего для участия в исследовании оценено 37 пациентов, из которых ПЭТ-КТ выполнена 18. Критерии

исключения выявлены у 10 пациентов. В исследование включены 8.

Критерии включения:

- Возраст 18 лет и старше.
- Общее состояние по шкале ECOG (Eastern Cooperative Oncology Group, Восточная кооперативная онкологическая группа)  $\leq 2$  [14].
- Морфологическая верификация рака желудка на дооперационном этапе методом эзофагогастродуоденоскопии с биопсией.
- Одобрение ПЭТ-КТ онкологическим консилиумом.

Подписанное информированное согласие на участие в исследовании.

Критерии исключения:

- Тотальный канцероматоз париетальной или висцеральной брюшины ( $n = 7$ ).
- Первично-множественные формы рака ( $n = 4$ ).

Всем включенным в исследование пациентам выполняли хирургическое лечение рака желудка с последующим патоморфологическим исследованием операционного материала. Шести пациентам проводилась неоадьювантная химиотерапия.

### Патоморфологическая оценка послеоперационного материала

Оценка гистологических препаратов производилась специалистами патологоанатомического отделения Сеченовского Университета в соответствии с рекомендациями Американского колледжа патологов<sup>1</sup> и Классификации опухолей желудочно-кишечного тракта<sup>2</sup>. Удаленный препарат помещали в 10% раствор нейтрального формалина на 24 часа для фиксации. Определяли макроскопические характеристики препарата, морфологический тип



**РИС. 1.** Потоковая диаграмма включения пациентов в исследование.

Примечание: ПЭТ-КТ – позитронно-эмиссионная томография – компьютерная томография.

<sup>1</sup> College of American Pathologists. Stomach Cancer Resection Protocol. Версия 4.1.0.0. <https://documents.cap.org/protocols/cpgiupper-stomach-20-4100.pdf> (дата обращения: 23.08.2024).



роста, локализацию, размеры, расстояние от опухоли до границ резекции.

В препарате выделяли лимфатические узлы согласно классификации JGCA<sup>5</sup>. Затем препарат рассекали параллельными разрезами с последующей стандартной парафиновой проводкой и изготовлением серийных и ступенчатых гистологических срезов с окрашиванием гематоксилином и эозином. Микроскопически оценивали глубину инвазии опухоли, наличие опухолевых клеток вблизи зоны резекции, наличие метастазов в лимфатических узлах, малом и большом сальнике. Также оценивали общее число удаленных и метастатически пораженных лимфатических узлов. Радикальность оперативного вмешательства указывали следующим образом: R0 – отсутствие опухолевых клеток вблизи границ резекции, R1 – наличие опухолевых клеток в линии резекции микроскопически, R2 – наличие опухолевых клеток в линии резекции макроскопически, Rx – в случае невозможности оценить границы опухоли при ее фрагментации.

#### Методика проведения совмещенной ПЭТ-КТ

Совмещенная ПЭТ-КТ проводилась натошак на базе Центра «ПЭТ-Технологии» Сеченовского Университета. Пациентам вводили внутривенно РФП 18-фтордезоксиглюкозу в дозе 195–410 МБк (в зависимости от веса пациента), затем через 60–80 минут проводили сканирование. Всем пациентам выполняли стандартное исследование в режиме «Whole body» (от уровня глазниц до средней трети бедра) в сочетании с низкодозной КТ для коррекции аттенуации ПЭТ-данных.

Реконструкцию изображения осуществляли автоматически с дальнейшим совмещением ПЭТ- и КТ-снимков. Интерпретацию данных ПЭТ выполняли визуальным и полуколичественным способами. Визуальный анализ ПЭТ-сканов проводили с помощью серой и цветной шкал в трех проекциях с построением трехмерных изображений каждой проекции максимальной интенсивности. Обнаруженные на ПЭТ-сканах находки сравнивали с КТ-снимками, полученными в ходе одного и того же исследования.

Для полуколичественного анализа ПЭТ-снимков рассчитывали стандартизированное накопление РФП – standardized uptake value (SUV<sub>max</sub>). Очаги повышенного накопления препарата (гиперметаболизма), не связанные с его физиологическим распределением, расценивали как патологические. Обработка полученных результатов включала визуальный анализ КТ- и ПЭТ-томограмм по отдельности, а также анализ совмещенных изображений. При этом точки периопухолевой жировой клетчатки сравнивали

как по денситометрической плотности, так и по накоплению РФП.

#### Методика 3D-визуализации КТ-снимков

Дополнительно командой специалистов – онкологов, хирурги, радиологи (Л.М.Т. – лучевой диагност, стаж работы 5 лет, М.А.Ц. – лучевой диагност, стаж работы 3 года) выполняли реконструкцию опухолевого процесса в программе «3D Slicer image computing platform», которая распространяется под лицензией с открытым исходным кодом по инициативе «The Open Source Initiative» и не содержит ограничений на законное использование [15].

Лимфоваскулярную, перинеуральную или венозную инвазию клетчатки, а также наличие свободных опухолевых депозитов в ней обозначали термином «опухолевая инвазия парагастральной клетчатки». Процесс разметки компрометированной периопухолевой клетчатки происходил следующим образом: при наличии одного или нескольких визуальных признаков поражения клетчатки, таких как тяжистость, повышенное накопление контрастного препарата, наличие в клетчатке измененных лимфатических узлов, отмечались области с измерением ее средней денситометрической плотности. Для сравнения отмечали ряд областей с плотностями забрюшинной, околопочечной клетчатки, большого сальника. Рассчитывали среднее арифметическое значение нормальной клетчатки и сравнивали со значениями пораженной.

#### Методы компьютерного зрения и статистический анализ

Для оценки точности предоперационного определения локализации патологических очагов, обнаруженных с помощью совмещенной ПЭТ-КТ или КТ, проведено сравнение по вокселю с эталонной разметкой на КТ. Первичная разметка ПЭТ-КТ- и КТ-изображений выполнена лучевым диагностом в программе 3D Slicer методом объемной сегментации на основе денситометрического контрастного анализа. Послеоперационные («эталонные») границы опухоли вторично размечены на КТ другим лучевым диагностом в программе 3D Slicer на основании визуального анализа удаленного макропрепарата, который был поэтапно иссечен по периметру с последующим гистологическим исследованием краев резекции. Во всех случаях подтверждена радикальность вмешательства R0. Микрофотографии резецированных образцов желудка измерены в полностью развернутом виде для стандартизации объемных оценок. Вторичную разметку КТ-изображений использовали в качестве контрольной для расчета

<sup>2</sup> WHO Classification of Tumours Editorial Board. Digestive System Tumours. 5th ed. Лион: IARC; 2019. <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Who-Classification-Of-Tumours/Digestive-System-Tumours-2019> (дата обращения: 23.08.2024).

<sup>5</sup> Японская ассоциация по изучению рака желудка. Japanese Classification of Gastric Carcinoma. 2nd English ed. Токио: Kanehara; 1998. <https://www.jgca.jp/wp-content/uploads/2023/08/JGCG-2E.pdf> (дата обращения: 23.08.2024).

метрик точности, поскольку в данной модальности лучше видны края компрометированного мезослоя.

Ориентировочный объем опухоли был рассчитан на основе наибольших осевых диаметров, измеренных по КТ в трех ортогональных плоскостях: фронтальной (среднее значение  $38 \pm 2$  мм), сагиттальной (среднее значение  $30 \pm 3$  мм) и вертикальной (среднее значение  $39 \pm 3$  мм). Эти размеры были использованы для ориентировочного определения гистологического эталонного объема опухоли, что обеспечило возможность интерпретации метрик, отражающих точность сегментации совмещенных ПЭТ-КТ-изображений и КТ-снимков.

Для количественной оценки пространственного соответствия границ опухоли по данным ПЭТ-КТ и КТ с гистологической разметкой были рассчитаны коэффициент сходства Dice (Dice Similarity Coefficient) и индекс Жаккарда (Intersection over Union). Для определения максимального расхождения границ опухоли по данным ПЭТ-КТ и КТ с гистологической разметкой было рассчитано расстояние Хаусдорфа.

Диагностическую эффективность первичной разметки (на ПЭТ-КТ или КТ) границ опухоли сравнивали с эталонной разметкой на КТ (построенной на основании макропрепарата и подтвержденной гистологически) с использованием показателей чувствительности и специфичности. Истинно положительными считали воксели, корректно идентифицированные как опухолевые как по первичной, так и по эталонной разметке; ложно положительными – воксели, определенные как опухолевые при первичной разметке, но не подтвержденные эталонной разметкой; ложно отрицательными – воксели, отнесенные к неопухолевым при первичной разметке, но относящиеся к опухолевым по эталонной разметке; истинно отрицательными – воксели, корректно классифицированные как неопухолевые и по первичной, и по эталонной разметке. Учитывая небольшой размер выборки ( $n = 8$ ), 95% доверительные интервалы (ДИ) для определения чувствительности и специфичности были рассчитаны с использованием шкалы Уилсона.

При описании результатов вычисляли медиану, минимальное и максимальное значения. Анализ проводили на языке Python (версия 3.13) с использованием библиотек MONAI и SciPy. Статистически значимым считали значение  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Исходные характеристики пациентов

Среди обследованных пациентов было 4 женщины и 4 мужчины в возрасте от 51 до 81 года. Физический статус по классификации ASA (The American Society of Anesthesiologists, Американское общество анестезиологов) [16] соответствовал у 6 из 8 пациентов II классу. В числе коморбидных заболеваний наиболее

часто наблюдалась ишемическая болезнь сердца и сахарный диабет 2-го типа. Опухоль локализовалась у 3 пациентов в антральном отделе, у 4 в кардиальном отделе или теле и у 1 пациента наблюдалось субтотальное поражение. Локальные осложнения в виде кровотечения или стеноза наблюдались у половины пациентов (табл. 1).

В таблице 2 представлена характеристика опухолевого процесса и проведенного лечения. Патоморфологический тип опухоли у всех пациентов был идентичным как по результатам дооперационной биопсии, так и по результатам гистологического исследования макропрепарата, полученного после оперативного лечения.

### Маркировка опухоли на основе совмещенной ПЭТ-КТ

Среднее максимальное значение уровня захвата (SUVmax) РФП в участках, где отмечался гиперметаболизм, у пациентов с опухолью антрального отдела составило  $17,8 \pm 1,3$ ; тела желудка –  $19,4$ ; кардиоэзофагеального перехода –  $14,7$ . Это позволило детализировать процесс разграничения области патологических изменений.

**Таблица 1. Клиническая характеристика пациентов**

| Признак                                   | Пациенты с раком желудка |
|-------------------------------------------|--------------------------|
| Мужчины, $n$ (%)                          | 4 (50)                   |
| Возраст, лет                              | 54 (51–81)               |
| Индекс массы тела, $\text{кг}/\text{м}^2$ | 23,8 (20,2–24,7)         |
| Физический статус по ASA, $n$ (%)         |                          |
| ASA I                                     | 2 (25)                   |
| ASA II                                    | 6 (75)                   |
| Состояние по шкале ECOG, $n$ (%)          |                          |
| 0                                         | 2 (25)                   |
| 1                                         | 4 (50)                   |
| 2                                         | 2 (25)                   |
| Коморбидность, $n$ (%)                    |                          |
| ишемическая болезнь сердца                | 3 (37,5)                 |
| гипертоническая болезнь                   | 1 (12,5)                 |
| фибрилляция предсердий                    | 1 (12,5)                 |
| сахарный диабет 2-го типа                 | 2 (25)                   |
| хроническая обструктивная болезнь легких  | 2 (2)                    |
| Локализация опухоли, $n$ (%)              |                          |
| кардия                                    | 2 (25)                   |
| тело                                      | 2 (25)                   |
| антральный отдел                          | 3 (37,5)                 |
| субтотальное поражение                    | 1 (12,5)                 |
| Осложнение опухолевого процесса, $n$ (%)  |                          |
| кровотечение                              | 1 (12,5)                 |
| проксимальный стеноз                      | 1 (12,5)                 |
| дистальный стеноз                         | 2 (25)                   |

Примечание: ASA – American Society of Anesthesiologists, система классификации физического статуса пациентов Американского общества анестезиологов; ECOG – Eastern Cooperative Oncology Group, Восточная кооперативная онкологическая группа.

Таблица 2. Характеристики рака желудка до и после лечения

| № | Лок. | cTNM, тип, степень дифференцировки                     | Лечение                                                                   | pTNM     | Инвазия |    |    | МГ, НУ | ПЭТ/КТ сходится с 3D-КТ |
|---|------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------|---------|----|----|--------|-------------------------|
|   |      |                                                        |                                                                           |          | ЛВ      | ПН | ПГ |        |                         |
| 1 | ПЖП  | cT3N2M0, аденокарцинома, G1                            | Резекция проксимального отдела желудка и терминального отдела пищевода D2 | pT4aN2M0 | +       | +  | +  | 32,8   | +                       |
| 2 | ПЖП  | cT4aN1M1, плоскоклеточная карцинома                    | НАХТ, гастрэктомия и резекция терминального отдела пищевода D2            | pT4aN1M1 | +       | -  | +  | 26,4   | +                       |
| 3 | ТЖ   | cT3N1M0, аденокарцинома, G2                            | НАХТ, гастрэктомия D2                                                     | pT3N2M0  | +       | -  | +  | 44,5   | +                       |
| 4 | ТЖ   | cT3N1M0, аденокарцинома, G3                            | НАХТ, гастрэктомия D2                                                     | pT3N0M0  | -       | -  | -  | 56,3   | -                       |
| 5 | АОЖ  | cT3N2M0, аденокарцинома, G1; с перстневидными клетками | НАХТ, дистальная резекция желудка D2                                      | pT3N1M0  | +       | -  | +  | 54,3   | -                       |
| 6 | АОЖ  | cT4bN1M0, аденокарцинома, G2                           | НАХТ, дистальная резекция желудка D2                                      | pT4bN1M0 | +       | +  | +  | 30,7   | +                       |
| 7 | АОЖ  | cT3N1M0, аденокарцинома, G1                            | НАХТ, дистальная резекция желудка D2                                      | pT3N2M1  | -       | +  | -  | 43,1   | -                       |
| 8 | СПЖ  | cT4aN2M1, перстневидно-клеточный рак                   | НАХТ, гастрэктомия D2                                                     | pT3N2M1  | +       | -  | +  | 29,1   | +                       |

Примечание: cTNM – клиническая стадия; НУ – Hounsfield unit, единицы Хаунсфилда; pTNM – патоморфологическая стадия; АОЖ – антральный отдел желудка; КТ – компьютерная томография; ЛВ – лимфоваскулярная; Лок. – локализация; МГ – мезогастрий; НАХТ – неоадьювантная химиотерапия; ПГ – парагастральная (свободные опухолевые клетки); ПЖП – пищеводно-желудочный переход (Siewert II); ПН – периневральная; ПЭТ – позитронно-эмиссионная томография; СПЖ – субтотальное поражение желудка; ТЖ – тело желудка.

В опухолях с наименьшей дифференцировкой клеток наблюдалось более высокое накопление РФП, что связано с их повышенной способностью к делению. Однако в двух случаях, при перстневидном раке (пациент № 8) и аденокарциноме с перстневидными клетками (пациент № 5), уровень накопления был низким, что, вероятно, обусловлено биохимическими особенностями опухоли.

При совмещении визуально измененных по КТ регионарных лимфатических узлов с зонами гиперфиксации РФП по ПЭТ-КТ в 5 из 8 случаев установлено соответствие данных КТ и ПЭТ. Инвазия опухоли в прилежащие органы – поджелудочную железу (1 пациент) по данным совмещенной ПЭТ-КТ проявлялась наличием гиперметаболизма РФП и уменьшением денситометрических показателей поджелудочной железы и селезенки (до 20 НУ) в участках, прилегающих к опухоли.

Согласно классификации TNM, характерными КТ-признаками при T3 стадии (5 пациентов) были неровные контуры наружной стенки органа и инфильтрация парагастральной клетчатки.

При распространенности T4 (3 пациента) выход опухоли за пределы стенки желудка сопровождался инфильтрацией жировой клетчатки. При этом контур органа при КТ и ПЭТ становился нечетким и бахромчатым, а параэзофагеальная клетчатка была утолщена и окружала пищевод в виде звездчатого «ободка» с пониженными денситометрическими показателями (20–70 НУ).

При прорастании опухолью стенки желудка выявляли изменения в парагастральной клетчатке, которые регистрировали и при КТ, и при ПЭТ. Если опухолевое поражение распространялось на связки, то наблюдали уплотнение различной интенсивности брюшинных листков связок и жировой клетчатки, содержащейся между связками. Компрометированная (денситометрически уплотненная) перипухолевая паракардиальная клетчатка по КТ в 5 из 8 наблюдений соответствовала зонам накопления РФП по ПЭТ.

Участки повышенного накопления РФП в перипухолевой клетчатке и повышение денситометрической плотности этих же участков по результатам КТ



**Таблица 3. Сравнение диагностической точности первичной разметки (на ПЭТ-КТ или КТ) границ опухоли с эталонной разметкой на КТ (построенной на основании макропрепарата и подтвержденной гистологически)**

|                            | ПЭТ-КТ                  | КТ                      |
|----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Чувствительность           | 0,88 (95% ДИ 0,76–0,97) | 0,88 (95% ДИ 0,47–1,0)  |
| Специфичность              | 0,91 (95% ДИ 0,80–0,99) | 0,75 (95% ДИ 0,35–0,97) |
| Коэффициент схождения Dice | 0,85 (95% ДИ 0,74–0,92) | 0,82 (95% ДИ 0,59–0,94) |
| Индекс Жаккарда            | 0,76 (95% ДИ 0,65–0,86) | 0,70 (95% ДИ 0,40–0,89) |
| Расстояние Хаусдорфа, мм   | 5,2 (95% ДИ 4,1–6,8)    | 8,1 (95% ДИ 6,3–9,5)    |

Примечание: ДИ – доверительный интервал; КТ – компьютерная томография; ПЭТ – позитронно-эмиссионная томография.

соответствовали истинной инвазии, подтвержденной при гистологическом исследовании удаленного макропрепарата в 6 из 8 случаев.

При сравнении по вокселям установлено, что первичная разметка совмещенной ПЭТ-КТ характеризуется более высокой диагностической точностью, чем первичная разметка только по КТ (табл. 3). Первичная разметка по совмещенной ПЭТ-КТ статистически значимо не отличалась от вторичной разметки по КТ с применением 3D-визуализации ( $p = 0,41$ ). Первичная разметка только по КТ менее точна, чем вторичная разметка по КТ с применением 3D-визуализации ( $p = 0,033$ ).

#### Примеры 3D-моделирования опухоли на основе КТ-снимков

При визуальном экспертном анализе границы опухоли по данным КТ без контрастирования не видны или дифференцируются нечетко (рис. 2А, 3А, 4А). По данным совмещенной ПЭТ-КТ опухоль визуализируется, однако затруднена дифференцировка между опухолью и парагастральной клетчаткой (рис. 4). При выполнении 3D-реконструкции на основании денситометрической плотности тканей, оцененной по DICOM-данным КТ, отмечена удовлетворительная визуализация

как опухоли, так и парагастральной клетчатки (рис. 4).

#### ОБСУЖДЕНИЕ

Маркировка границ опухоли на основе совмещенной ПЭТ-КТ характеризуется высокой точностью (чувствительность – 0,88, специфичность – 0,91) при сравнении с границами опухоли при гистологическом исследовании послеоперационного материала. При количественной оценке совпадения границ разметки, полученных при сегментации ПЭТ-КТ и гистологических микропрепаратов, зарегистрированы высокие коэффициенты схождения (коэффициент Dice 0,85, индекс Жаккарда 0,76), а максимальное расхождение границ опухоли по данным двух исследований, рассчитанное по расстоянию Хаусдорфа, составило в среднем 5,2 мм. Учитывая средние размеры опухоли 38×30×39 мм, данный показатель можно интерпретировать как удовлетворительный. При маркировке границ опухоли только на основе КТ показатели, оценивающие точность, были несколько ниже. Однако, несмотря на сопоставимые результаты, более широкие доверительные интервалы, наблюдаемые при сегментации компрометированного мезослоя на основе КТ, свидетельствуют о большей изменчивости и «случайности» определения границ



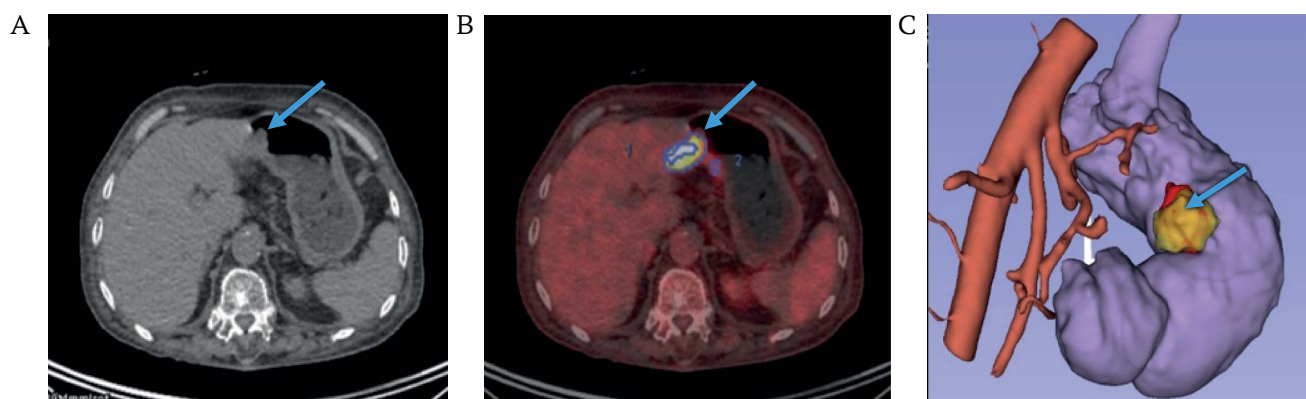
**РИС. 2.** Визуализация рака средней трети тела желудка.

А. Компьютерная томография без контрастирования.

В. Совмещенная позитронно-эмиссионная и компьютерная томография.

С. 3D-модель мезогастрия на основе DICOM-данных компьютерной томографии.

Примечание: уровень накопления радиофармпрепарата 18-фтордезоксиглюкозы в опухоли (голубая стрелка) и парагастральной клетчатке (оранжевая стрелка).

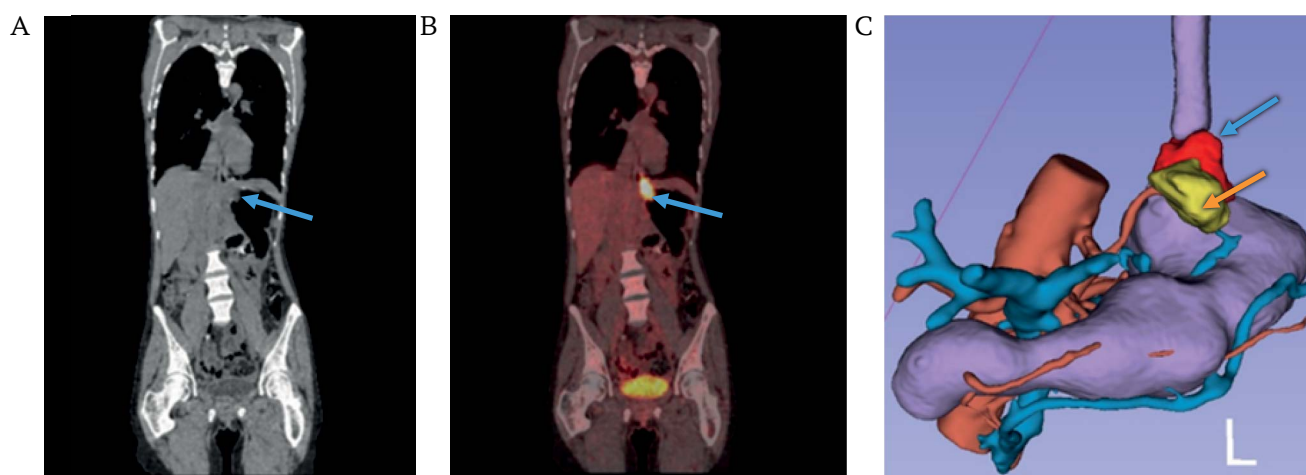


**РИС. 3.** Визуализация рака антрального отдела желудка (стрелка).

А. Компьютерная томография без контрастирования.

В. Совмещенная позитронно-эмиссионная и компьютерная томография.

С. 3D-модель мезогастрия на основе DICOM-данных компьютерной томографии.



**РИС. 4.** Визуализация рака кардиоэзофагеального перехода.

А. Компьютерная томография без контрастирования.

В. Совмещенная позитронно-эмиссионная и компьютерная томография.

С. 3D-модель мезогастрия на основе DICOM-данных компьютерной томографии.

Примечание: уровень накопления радиофармпрепарата 18-фтордезоксиглюкозы в опухоли (голубая стрелка) и парагастральной клетчатке (оранжевая стрелка).

в областях с едва заметной инвазией опухоли, таких как парагастральный слой. Таким образом, КТ обеспечивает менее последовательное очерчивание границ опухоли по сравнению с ПЭТ-КТ.

Периопухолевая жировая клетчатка – элемент «эмбрионального мезогастрия» – часто является компрометированной и уплотненной по данным КТ при местнораспространенных процессах. Опухолевая инвазия данной клетчатки (венозная, лимфоваскулярная и периневральная) считается негативным фактором прогноза [17–23]. В проведенном исследовании у 5 из 8 пациентов денситометрически уплотненная по данным КТ периопухолевая клетчатка соответствовала зонам накопления РФП при ПЭТ, что в совокупности с послеоперационными патоморфологическими данными позволило выявить зависимость между ее плотностью и истинной опухолевой инвазией.

В исследовании дополнительно анализировали плотность периопухолевой клетчатки, реконструировали данные участки в программе 3D Slicer на основе КТ-снимков в рамках выполнения совмещенной ПЭТ-КТ и сравнили полученные 3D-модели с данными «эталонной» разметки ПЭТ-КТ. Моделирование опухолевого процесса на основании DICOM-файлов КТ на протяжении нескольких лет используется в урологии, торакальной хирургии, панкреатологии. Например, отечественные ученые разработали нейронную сеть для построения 3D-моделей опухолей почек [24]. При этом главную роль в моделировании играет ангиоархитектоника – моделирование сосудов как основного ориентира для лимфодиссекции [25–28]. Методы предоперационного 3D-моделирования подразумевают построение модели самой опухоли и определение ее положения относительно сосудов [9, 19]. С внедрением в практику лапароскопических

операций, которые проводятся в условиях ограниченного визуального контроля и без тактильной чувствительности, появилась необходимость в создании единых анатомических ориентиров, анатомической навигации и стандартизации технических приемов [29, 30].

Корейскими и японскими хирургами проведены успешные попытки создания программ по реконструкции желудка, сосудов чревного ствола и взаимоотношения желудка и окружающих органов на основании КТ. В качестве примера – последняя разработка Корейского национального института во главе с профессором W.J. Hyung – программа RUS™, в которой моделируется интраоперационная картина с имитацией пневмоперитонеума на основании DICOM-файлов КТ, затем хирургами проводится оценка индивидуальной анатомии желудка, его сосудов и окружающих органов [25]. Имитация пневмоперитонеума позволяет максимально точно смоделировать интраоперационную картину и этапы операции. При валидации указанного программного обеспечения у пациентов с раком желудка авторы подтвердили точность 3D-реконструкции. Однако в данной программе периопухолевая жировая клетчатка авторами не упоминается.

Другой алгоритм 3D-реконструкции желудка и окружающих тканей для предоперационного планирования разработан Jin Woong Kim и соавт. [31], однако этот метод основан на данных КТ с контрастным усилением и виртуальной эзофагогастродуоденоскопии. В связи с этим снижается информативность и точность реконструкции опухоли и пораженных окружающих тканей при ранних стадиях онкологического процесса по сравнению с методом совмещенной ПЭТ-КТ, так как на КТ-изображениях цветовой спектр резко ограничен. При начальных стадиях (поверхностное пристеночное поражение) по данным стандартной эзофагогастродуоденоскопии только изменение цвета слизистой оболочки указывает на наличие опухоли без существенных изменений складок. Таким образом, если аномальное утолщение слизистой оболочки, связанное с опухолью, не регистрируется на 2D-изображениях, то основанная на данном методе 3D-реконструкция не позволит обнаружить опухоль и построить детальную трехмерную модель. Кроме того, следует отметить, что желудочная секреция, остатки пищи, линия механического шва/клипсы могут имитировать под рак желудка и быть спутаны с истинным поражением.

Преимуществами 3D моделирования опухолевого процесса с использованием программы 3D Slicer являются малая инвазивность метода и его

экономическая эффективность, поскольку реконструкция основана на данных КТ с внутривенным контрастированием – рутинном, обязательном исследовании, включенном в клинические рекомендации. Кроме того, при 3D-реконструкции возможно воссоздание точной архитектоники периопухолевой клетчатки с прилежащими венами, лимфатическими сосудами и нервными волокнами, что позволяет улучшить радикальность оперативного вмешательства и увеличить 5-летнюю выживаемость пациентов. Предложенный метод позволит онкологам, хирургам на дооперационном этапе определять границы распространенности опухоли и удалять ее в пределах здоровых тканей, что должно улучшить прогноз и выживаемость пациентов с раком желудка.

### Ограничения исследования и направления для дальнейших исследований

Ограничениями исследования являются небольшая выборка пациентов, малый срок наблюдения для оценки прогноза и выживаемости пациентов, а также низкая чувствительность КТ в диагностике поражения жировой клетчатки. Дальнейшая разработка дооперационного 3D-моделирования мезогастрального слоя может дать возможность обнаружить опухолевое поражение участков с большей денситометрической плотностью. При большей выборке пациентов возможно создание набора данных на основании размеченных DICOM-файлов и обучение более эффективных моделей, помогающих в принятии врачебных решений.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследовании установлена высокая точность совмещенной ПЭТ-КТ: чувствительность – 0,88 (95% ДИ: 0,76–0,97), специфичность – 0,91 (95% ДИ: 0,80–0,99) в определении области компрометированного мезослоя жировой клетчатки у пациентов с раком желудка. Продемонстрировано, что ПЭТ-КТ обеспечивает более высокую точность при выявлении опухолевой инвазии по сравнению с КТ, поскольку в области компрометированного мезослоя жировой клетчатки границы опухоли на КТ слабо дифференцируются из-за схожей плотности тканей и отсутствия выраженного контрастирования, что затрудняет точную предоперационную оценку инвазии. Создание 3D-моделей этих зон на основе DICOM-файлов КТ в сочетании с визуализацией опухоли желудка и сосудов по совмещенной ПЭТ-КТ позволяет точно определять границы опухоли и способствует комплексному предоперационному планированию онкологических операций.

### ВКЛАД АВТОРОВ

T.B. Хоробрых, В.Г. Агаджанов, И.В. Ивашов выполняли операции, подготовку диагностических исследований, разметку DICOM-файлов, анализ результатов, разработку концепции и дизайна исследования. Л.М. Тулина выполняла

### AUTHOR CONTRIBUTIONS

Tatiana V. Khorobrykh, Vadim G. Agadzhanov, Ivan V. Ivashov performed the surgical procedures, collected diagnostic data, marked up DICOM files, analyzed the results, and developed the concept and design of the study. Larisa M. Tulina performed



позитронную эмиссионную томографию с 18-фтордезоксиглюкозой и компьютерную томографию с внутривенным контрастированием. А.В. Грачалов, М.А. Цай, З.А. Омарова выполняли разметку DICOM-файлов, построение и анализ 3D-моделей, сбор данных, подготовку текста рукописи. Е.В. Поддубская проводила коррекцию и критический пересмотр рукописи. Я.А. Драч проводил статистический анализ, разрабатывал методику сбора и анализа данных, подготовил текст рукописи, строил и анализировал 3D-модели. Все авторы одобрили окончательную версию статьи.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Yang W.J., Zhao H.P., Yu Y., et al. Updates on global epidemiology, risk and prognostic factors of gastric cancer. *World J Gastroenterol*. 2023 Apr 28;29(16):2452–2468. <https://doi.org/10.3748/wjg.v29.i16.2452>. PMID: 37179585
- Withey S.J., Goh V., Foley K.G. State-of-the-art imaging in oesophago-gastric cancer. *Br J Radiol*. 2022 Sep 1;95(1137):20220410. <https://doi.org/10.1259/bjr.20220410>. Epub 2022 Jun 15. PMID: 35671095
- Chen Q.Y., Zhong Q., Liu Z.Y., et al. Indocyanine green fluorescence imaging-guided versus conventional laparoscopic lymphadenectomy for gastric cancer: long-term outcomes of a phase 3 randomised clinical trial. *Nat Commun*. 2023 Nov 16;14(1):7413. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-42712-6>. PMID: 37973806
- Ruan D., Zhao L., Cai J., et al. Evaluation of FAPI PET imaging in gastric cancer: a systematic review and meta-analysis. *Theranostics*. 2023 Aug 21;13(13):4694–4710. <https://doi.org/10.7150/thno.88335>. PMID: 37649615
- Lordick F., Carneiro F., Cascinu S., et al. Electronic address: clinicalguidelines@esmo.org. Gastric cancer: ESMO Clinical Practice Guideline for diagnosis, treatment and follow-up. *Ann Oncol*. 2022 Oct;33(10):1005–1020. <https://doi.org/10.1016/jannonc.2022.07.004>. Epub 2022 Jul 29. PMID: 35914639
- López Sala P., Leturia Etxeberria M., Inchausti Iguñiz E., et al. Gastric adenocarcinoma: A review of the TNM classification system and ways of spreading. *Radiologia (Engl Ed)*. 2023 Jan-Feb;65(1):66–80. <https://doi.org/10.1016/j.rxeng.2022.10.011>. PMID: 36842787
- Ma D., Zhang Y., Shao X., Wu C., Wu J. PET/CT for predicting occult lymph node metastasis in gastric cancer. *Curr Oncol*. 2022 Sep 11;29(9):6523–6539. <https://doi.org/10.3390/curroncol29090513>. PMID: 36135082
- Sun J., Wang Z., Zhu H., Yang Q., Sun Y. Advanced gastric cancer: CT radiomics prediction of lymph nodes metastasis after neoadjuvant chemotherapy. *J Imaging Inform Med*. 2024 Dec;37(6):2910–2919. <https://doi.org/10.1007/s10278-024-01148-0>. Epub 2024 Jun 17. PMID: 38886288
- Awai M.O., Ramanan R.V., Elshikh M., Vikram R. Imaging of gastric carcinoma. Part one: diagnosis and staging. *J Gastrointest Abdom Radiol*. 2021;4(03):194–205. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1735217>. ISSN 2581-9933
- Shinohara H., Kurahashi Y., Haruta S., Ishida Y., Sasako M. Universalization of the operative strategy by systematic mesogastric excision for stomach cancer with that for total mesorectal excision and complete mesocolic excision colorectal counterparts. *Ann Gastroenterol Surg*. 2017 Oct 23;2(1):28–36. <https://doi.org/10.1002/ags3.12048>. PMID: 29863126
- Shinohara H. Illustrated abdominal surgery: based on embryology and anatomy of the digestive system. 2020. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-1796-9>. ISBN: 978-981-15-1795-2
- Nakamura T., Yamada S., Funatomi T., et al. Three-dimensional morphogenesis of the omental bursa from four recesses in staged human embryos. *J Anat*. 2020 Jul;237(1):166–175. <https://doi.org/10.1111/joa.13174>. Epub 2020 Feb 16. PMID: 32064626
- Ma T., Li X., Zhang T., et al. Effect of visceral adipose tissue on the accuracy of preoperative T-staging of gastric cancer. *Eur J Radiol*. 2022 Oct;155:110488. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2022.110488>. Epub 2022 Aug 17. PMID: 35988392
- Sok M., Zavrl M., Greif B., Srpič M. Objective assessment of WHO/ECOG performance status. *Support Care Cancer*. 2019 Oct;27(10):3793–3798. <https://doi.org/10.1007/s00520-018-4597-z>. Epub 2019 Feb 5. PMID: 30721369
- Fedorov A., Beichel R., Kalpathy-Cramer J., et al. 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network. *Magn Reson Imaging*. 2012 Nov;30(9):1323–1341. <https://doi.org/10.1016/j.mri.2012.05.001>. Epub 2012 Jul 6. PMID: 22770690
- Mak P.H.K., Campbell R.C.H., Irwin M.G. American Society of Anesthesiologists. The ASA Physical Status Classification: inter-observer consistency. *American Society of Anesthesiologists. Anaesth Intensive Care*. 2002 Oct;30(5):633–640. <https://doi.org/10.1177/0310057X0203000516>. PMID: 12413266
- Kulig P., Pach R., Majewska O., Kulig J. Clinicopathological prognostic factors determining outcomes of treatment in gastric cancer surgery. In *Vivo*. 2022 Nov-Dec;36(6):2927–2935. <https://doi.org/10.21873/invivo.13035>. PMID: 36309397
- Kinami S., Nakamura N., Miyashita T., et al. Life prognosis of sentinel node navigation surgery for early-stage gastric cancer: Outcome of lymphatic basin dissection. *World J Gastroenterol*. 2021 Dec 14;27(46):8010–8030. <https://doi.org/10.3748/wjg.v27.i46.8010>. PMID: 35046627
- Ebihara Y., Kyogoku N., Murakami Y., et al. Relationship between laparoscopic total gastrectomy-associated postoperative complications and gastric cancer prognosis. *Updates Surg*. 2023 Jan;75(1):149–158. <https://doi.org/10.1007/s13304-022-01402-6>. Epub 2022 Nov 11. PMID: 36369627
- Liu H., Wang F., Liu B., et al. Application of three-dimensional reconstruction with a Hisense computer-assisted system in upper pancreatic lymph node dissection during laparoscopic-assisted radical gastrectomy. *Asian J Surg*. 2021 May;44(5):730–737. <https://doi.org/10.1016/j.asjsur.2020.12.034>. Epub 2021 Jan 23. PMID: 33500172
- Guo D., Zhu X.Y., Han S., Liu Y.S., Cui D.P. Evaluating the use of three-dimensional reconstruction visualization technology for precise laparoscopic resection in gastroesophageal junction cancer. *World J Gastrointest Surg*. 2024 May 27;16(5):1311–1319. <https://doi.org/10.4240/wjgs.v16.i5.1311>. PMID: 38817296
- Iino I., Kikuchi H., Suzuki T., et al. Comprehensive evaluation of three-dimensional anatomy of perigastric vessels using enhanced multidetector-row computed tomography. *BMC Surg*. 2022 Nov 21;22(1):403. <https://doi.org/10.1186/s12893-022-01836-0>. PMID: 36404317
- Zhang L., Zheng F., Peng Z., Hu Z., Yang Z. A feasible method of angiogenesis assessment in gastric cancer using 3D microvessel density. *Stem Cells Int*. 2018 Apr 3;2018:7813729. <https://doi.org/10.1155/2018/7813729>. PMID: 29765420
- Черненко И.М., Черненко М.М., Фиев Д.Н., Сирота Е.С. Сегментация почечных структур по изображениям контрастной компьютерной томографии с помощью сверточной нейронной сети. *Сеченовский вестник*. 2023;14(1):39–49. <https://doi.org/10.47093/2218-7332.2023.14.1.39-49>. EDN OKTADT / Chernenkiy I.M., Chernenkiy M.M., Fiev D.N., Sirota E.S. Segmentation of renal structures based on contrast computed tomography scans using a convolutional neural network. *Sechenov Medical Journal*. 2023;14(1):39–49. <https://doi.org/10.47093/2218-7332.2023.14.1.39-49>. EDN OKTADT

25. Park S.H., Kim K.Y., Kim Y.M., Hyung W.J. Patient-specific virtual three-dimensional surgical navigation for gastric cancer surgery: A prospective study for preoperative planning and intraoperative guidance. *Front Oncol.* 2023 Feb 21;13: 1140175. <https://doi.org/10.3389/fonc.2023.1140175>. PMID: 36895483
26. Lopez P., Belgacem A., Sarnacki S., et al. Enhancing surgical planning for abdominal tumors in children through advanced 3D visualization techniques: a systematic review of future prospects. *Front Pediatr.* 2024 May 7;12:1386280. <https://doi.org/10.3389/fped.2024.1386280>. PMID: 38863523
27. Cheng J., Wang Z., Liu J., et al. Value of 3D printing technology combined with indocyanine green fluorescent navigation in complex laparoscopic hepatectomy. *PLoS One.* 2022 Aug 11;17(8):e0272815. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0272815>. PMID: 35951521
28. Husarova T., MacCuaig W.M., Dennahy I.S., et al. Intraoperative imaging in hepatopancreatobiliary surgery. *Cancers (Basel).* 2023 Jul 20;15(14):3694. <https://doi.org/10.3390/cancers15143694>. PMID: 37509355
29. Han Z., Dou Q. A review on organ deformation modeling approaches for reliable surgical navigation using augmented reality. *Comput Assist Surg (Abingdon).* 2024 Dec;29(1):2357164. <https://doi.org/10.1080/24699322.2024.2357164>. Epub 2024 Sep 10. PMID: 39253945
30. Wang Y., Cao D., Chen S.L., et al. Current trends in three-dimensional visualization and real-time navigation as well as robot-assisted technologies in hepatobiliary surgery. *World J Gastrointest Surg.* 2021 Sep 27;13(9):904–922. <https://doi.org/10.4240/wjgs.v13.i9.904>. PMID: 34621469
31. Kim J.W., Shin S.S., Heo S.H., et al. The role of three-dimensional multidetector CT gastrography in the preoperative imaging of stomach cancer: emphasis on detection and localization of the tumor. *Korean J Radiol.* 2015 Jan-Feb;16(1):80–89. <https://doi.org/10.3348/kjr.2015.16.1.80>. Epub 2015 Jan 9. PMID: 25598676

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Хоробрых Татьяна Витальевна**, д-р мед. наук, профессор РАН, директор клиники факультетской хирургии № 2 им. Г.И. Лукомского ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет).  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5769-5091>

**Поддубская Елена Владимировна**, канд. мед. наук, старший научный сотрудник Института персонализированной онкологии ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет).  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6476-6337>

**Агаджанов Вадим Гамлетович**, канд. мед. наук, доцент кафедры факультетской хирургии № 2 им. Г.И. Лукомского ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет).  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4068-8431>

**Тулина Лариса Михайловна**, канд. мед. наук, доцент кафедры фармакологии ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), главный врач центра ядерной медицины «ПЭТ-Технологии» в Москве «Сеченовский университет».  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9148-2046>

**Ивашов Иван Валерьевич** ✉ – канд. мед. наук, доцент кафедры факультетской хирургии № 2 им. Г.И. Лукомского ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет).  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6503-789X>

**Грачалов Антон Владимирович**, аспирант кафедры факультетской хирургии № 2 имени Г.И. Лукомского ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет).  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9162-0700>

**Цай Мария Александровна**, врач-радиолог центра ядерной медицины «ПЭТ-Технологии» в Москве «Сеченовский университет».  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0109-981X>

**Драч Ярослав Анатольевич**, студент магистратуры, МГТУ им. Баумана.  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9284-7316>

**Tatiana V. Khorobrykh**, Dr. of Sci. (Medicine), Professor of the Russian Academy of Sciences, Head of the G.I. Lukomsky Faculty Surgery Clinic No. 2, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University).  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5769-5091>

**Elena V. Poddubskaya**, Cand. of Sci. (Medicine), Senior Researcher, Institute of Personalized Oncology, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University).  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6476-6337>

**Vadim G. Agadzhanov**, Cand. of Sci. (Medicine), Associate Professor of the Department of Faculty Surgery No. 2 named after G.I. Lukomsky, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University).  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4068-8431>

**Larisa M. Tulina**, Cand. of Sci. (Medicine), Associate Professor, Department of Pharmacology, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Chief Physician, PET-Technologies Nuclear Medicine Center in Moscow “Sechenov University”.  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9148-2046>

**Ivan V. Ivashov** ✉, Cand. of Sci. (Medicine), Associate Professor of the Department of Faculty Surgery No. 2 named after G.I. Lukomsky, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University).  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6503-789X>

**Anton V. Grachalov**, postgraduate student, Department of Faculty Surgery No. 2 named after G.I. Lukomsky, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University).  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9162-0700>

**Maria A. Tsai**, radiologist, PET-Technologies Nuclear Medicine Center in Moscow “Sechenov University”.  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0109-981X>

**Iaroslav A. Drach**, student, Bauman Moscow State Technical University  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9284-7316>

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author