

ПЕРФУЗИОННАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ – НОВЫЕ ГОРИЗОНТЫ В ДИАГНОСТИКЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

ДЖУРАЕВА НИГОРА МУХСУМОВНА, ORCID ID: 0000-0002-2232-8264, докт. мед. наук, заведующая отделением компьютерной и магнитно-резонансной томографии, ГУ «Республиканский специализированный научно-практический центр хирургии имени академика В. Вахидова», Узбекистан, г. Ташкент, ул. Кичик Халка Йули, 10. E-mail: nika.kt@rambler.ru

ИБАДОВ РАВШАН АЛИЕВИЧ, ORCID ID: 0000-0002-0992-0802; докт. мед. наук, профессор, руководитель отделения реанимации, ГУ «Республиканский специализированный научно-практический центр хирургии имени академика В. Вахидова», Узбекистан, г. Ташкент, ул. Кичик Халка Йули, 10. E-mail: tmsravshan@mail.ru

ИБРАГИМОВ САРДОР ХАМДАМОВИЧ, ORCID ID: 0000-0003-2876-411X; канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения реанимации и интенсивной терапии ГУ «Республиканский специализированный научно-практический центр хирургии имени академика В. Вахидова», Узбекистан, г. Ташкент, ул. Кичик Халка Йули, 10. E-mail: dr.sardor.ibragimov@gmail.com

АБДУХАЛИМОВА ХАНУМ ВАЛЕНТИНОВНА, ORCID ID: 0000-0002-3294-4183, канд. мед. наук, врач-радиолог, младший научный сотрудник отделения компьютерной и магнитно-резонансной томографии, ГУ «Республиканский специализированный научно-практический центр хирургии имени академика В. Вахидова», Узбекистан, г. Ташкент, ул. Кичик Халка Йули, 10. E-mail: xanummuzik@yandex.ru

АКИЛОВА ГУЛЬНАРА ХАБИБУЛЛАЕВНА, ORCID ID: 0009-0007-9421-5529, соискатель ученой степени канд. мед. наук, сотрудник отделения компьютерной и магнитно-резонансной томографии, ГУ «Республиканский специализированный научно-практический центр хирургии имени академика В. Вахидова», Узбекистан, г. Ташкент, ул. Кичик Халка Йули, 10. E-mail: lolita_yunusova@mail.ru

Реферат. Введение. По данным Всемирной организации здравоохранения наиболее распространенным заболеванием поджелудочной железы является острый панкреатит, который может приводить к развитию некроза поджелудочной железы. В связи с этим ранняя диагностика и оценка риска развития некроза поджелудочной железы имеют первостепенное значение для выбора адекватной тактики лечения и улучшения исходов для пациентов. Лучевые методы исследования стали «золотым» стандартом в клинической практике первичной диагностики заболеваний поджелудочной железы. Компьютерная томография с контрастированием традиционно используется для визуализации поджелудочной железы и оценки степени воспаления и некротических изменений. Однако, стандартная компьютерная томография имеет ограничения в оценке перфузии тканей, которая является важным аспектом патофизиологии острого панкреатита. Перфузионная компьютерная томография поджелудочной железы стала колоссальным прорывом в лучевой визуализации, получила широкое распространение как метод, позволяющий количественно оценить кровоснабжение поджелудочной железы, в том числе информативность о микроциркуляции и может быть использована для раннего выявления ишемических изменений, предшествующих некрозу тканей поджелудочной железы. Раннее выявление нарушений перфузии позволяет прогнозировать развитие некроза с высокой точностью и своевременно корректировать лечебные мероприятия для нивелирования осложнений. **Цель исследования** – изучить возможности компьютерно-томографического перфузионного исследования и компьютерной томографической ангиографии поджелудочной железы в оценке площади некроза поджелудочной железы при остром панкреатите, с целью улучшения диагностики и планирования лечебных мероприятий для минимизации осложнений и повышения выживаемости пациентов. **Материалы и методы.** Было проведено одноцентровое обследование 42 пациентов (18 женщин, 24 мужчины, средний возраст 38 ± 2 года) с подозрением на острый панкреатит. Всем пациентам была проведена перфузионная компьютерная томография в первые 3 суток, в последующие 3-5 суток была проведена компьютерная томографическая ангиография поджелудочной железы с болюсным внутривенным контрастированием для подтверждения развития некротических изменений. **Результаты и их обсуждение.** После проведения перфузионной компьютерной томографии в первые 3 суток с момента начала симптомов были выявлены зоны ишемического поражения ткани поджелудочной железы у 16 пациентов (38,1%) из 42. После проведения компьютерной томографической ангиографии подтвердилось развитие некротических изменений у 7 пациентов (16,7%). Локализация зоны некроза на компьютерной томографии совпала с зонами ишемии на цветовых гемодинамических картах перфузионной компьютерной томографии. **Заключение.** Таким образом, наше исследование подчеркивает эффективность перфузионной компьютерной томографии в раннем выявлении зон ишемии при остром панкреатите, обосновывая необходимость ее проведения непосредственно после поступления пациента в стационар.

Ключевые слова: КТ-перфузия, КТ-ангиография, поджелудочная железа, острый панкреатит, панкреонекроз, визуализация, диагностика.

Для ссылки: Джураева Н.М., Ибадов Р.А., Ибрагимов С.Х., [и др.]. Перфузионная компьютерная томография – новые горизонты в диагностике заболеваний поджелудочной железы // Вестник современной клинической медицины. – 2024. – Т. 17, вып. 4. – С. 108–116. DOI: 10.20969/VSKM.2024.17(4).108-116.

PERFUSION COMPUTED TOMOGRAPHY: NEW HORIZONS IN DIAGNOSING DISEASES OF THE PANCREAS

DJURAEVA NIGORA M., ORCID ID: 0000-0002-2232-8264, Dr. sc. med., Head of the Department of Computed and Magnetic Resonance Imaging, Republican Specialized Scientific and Practical Center for Surgery named after Academician V. Vakhidov, Uzbekistan, 10 Kichik Khalka Yuli str., Tashkent, Uzbekistan. E-mail: nika.kt@rambler.ru

IBADOV RAVSHAN A., ORCID ID: 0000-0002-0992-0802, Dr. sc. med., Professor, Head of the Emergency Department, Republican Specialized Scientific and Practical Center for Surgery named after Academician V. Vakhidov, 10 Kichik Khalka Yuli str., Tashkent, Uzbekistan. E-mail: tmsravshan@mail.ru

IBRAGIMOV SARDOR Kh., ORCID ID: 0000-0003-2876-411X, Cand. sc. med, Senior Researcher at the Department of Reanimation and Intensive Care, Republican Specialized Scientific and Practical Center for Surgery named after Academician V. Vakhidov, 10 Kichik Khalka Yuli str., Tashkent, Uzbekistan. E-mail: dr.sardor.ibragimov@gmail.com

ABDUKHALIMOVA KHANUM V., ORCID ID: 0000-0002-3294-4183, Cand. sc. med, Radiologist, Junior Researcher at the Department of Computed and Magnetic Resonance Imaging, Republican Specialized Scientific and Practical Center for Surgery named after Academician V. Vakhidov, 10 Kichik Khalka Yuli str., Tashkent, Uzbekistan.

E-mail: xanummuzik@yandex.ru

AKILOVA GULNARA K., ORCID ID: 0009-0007-9421-5529, Applicant for the degree of Cand. sc. med., Employee at the Department of Computed and Magnetic Resonance Imaging, Republican Specialized Scientific and Practical Center for Surgery named after Academician V. Vakhidov, 10 Kichik Khalka Yuli str., Tashkent, Uzbekistan.

E-mail: lolita_yunusova@mail.ru

Abstract. Introduction. According to the World Health Organization, the most common disease of the pancreas is acute pancreatitis, which can lead to the development of pancreatic necrosis. In this regard, early diagnosis and assessment of the pancreatic necrosis risk development are of paramount importance for choosing adequate treatment approaches and improving outcomes for patients. Radiological research methods have become the “gold” standard in clinical practice for the primary diagnosis of pancreatic diseases. Contrast-enhanced computed tomography has traditionally been used to visualize the pancreas and assess the extent of inflammation and necrotic changes. However, standard computed tomography has limitations in assessing tissue perfusion, which is an important aspect of the pathophysiology of acute pancreatitis. Perfusion computed tomography of the pancreas has become a colossal breakthrough in radiation imaging, has become widespread as a method that allows the quantitative assessment of blood supply to the pancreas, including information about microcirculation, and it can be used for the early detection of ischemic changes that precede tissue necrosis in the pancreas. **Aim.** To study the capabilities of perfusion computed tomography and computed tomography angiography of the pancreas for evaluating the area of pancreatic necrosis in acute pancreatitis, with the aim of improving diagnosis and planning treatment measures to minimize the consequences and increase patient survival. **Materials and Methods.** A single-center examination was carried out on 42 patients (18 women, 24 men, mean age 38±2 years) with suspected acute pancreatitis. All patients underwent perfusion computed tomography within the first 3 days; over the next 3-5 days, computed tomography angiography of the pancreas was performed with bolus intravenous contrast to confirm the development of necrotic changes. **Results and Discussion.** After performing perfusion computed tomography within the first 3 days from the onset of symptoms, areas of ischemic damage to the pancreas tissue were identified in 16 (38.1%) out of 42 patients. After computed tomography angiography, the development of necrotic changes was confirmed in 7 patients (16.7%). The localization of the necrosis zone detected in computed tomography coincided with the ischemic zones on the color hemodynamic maps of perfusion computed tomography.

Keywords: CT perfusion, CT angiography, pancreas, acute pancreatitis, pancreatic necrosis, visualization, diagnostics.

For reference: Djuraeva NM, Ibadov RA, Ibragimov SK, et al. Perfusion computed tomography: new horizons in diagnosing diseases of the pancreas. The Bulletin of Contemporary Clinical Medicine. 2024; 17 (4): 108-116.

DOI: 10.20969/VSKM.2024.17(4).108-116.

Введение. Заболеваемость острым панкреатитом (ОП) из года в год стабильно растет на 5-10 %, при этом тяжелые формы острого панкреатита развиваются в 15-20 % случаев, а у 40-70 % пациентов панкреонекроз сопровождается инфицированием, что в 80% случаев приводит к летальным исходам [1]. Примечательно, что по данным Cl. Li et al. (2021), существуют значительные различия в определении тяжести ОП во всем мире, а с учетом старения населения эта патология имеет тенденцию к увеличению [2].

Ранняя диагностика острого панкреатита, которая является критически важной, так как позволяет предотвратить такое серьезное осложнение, как панкреонекроз, улучшить эффективность лечения, снизить риск системных воспалительных реакций и полиорганной недостаточности, обеспечить адекватное обезболивание, спланировать оптимальное

лечение и существенно снизить уровень летальности. Все это улучшает прогноз и качество жизни пациента [3-4].

Главным преимуществом современных методов визуализации, несомненно, является то, что они неинвазивные. Одними из наиболее информативных исследований лучевой диагностики поджелудочной железы при остром панкреатите на сегодняшний день являются компьютерная томография (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ) [5-6]. Преимуществами компьютерной томографической ангиографии (КТ-ангиографии) являются хорошее пространственное разрешение, четкая визуализация размеров, формы и структуры поджелудочной железы, размеров зон некроза, объема и протяженность жидкостных скоплений в забрюшинной клетчатке независимо от состояния окружающих ее тканей и органов [7].

Но тем не менее КТ-ангиография не дает предпосылок для появления зон панкреонекроза еще до его появления [8]. Эта актуальная проблема стала глубже изучаться и с появлением новых возможностей изучения ранней диагностики острого панкреатита и панкреонекроза при помощи перфузионной компьютерной томографии (ПКТ). У пациентов с острым панкреонекрозом, при возникновении острой почечной недостаточности, вследствие применения контраста у пациентов, перенесших COVID-19, необходимо сначала исключить другие возможные причины. Это могут быть: синдром тромбоза, который может развиться после ангиографии, ишемическая нефропатия и нефротоксические эффекты, не связанные с введением контраста [9].

Диагностическая визуализация поджелудочной железы и парапанкреатической зоны успешно проводится с помощью перфузионной компьютерной томографии, которая является неинвазивным методом оценки гемодинамики и способна оценить относительный объем крови, удельную объемную скорость кровотока, среднее время транзита, проницаемость кровеносного русла в поджелудочной железе и прилегающих тканях даже в тех случаях, которые кажутся изоденсивными по отношению к окружающей ткани на обычных КТ-изображениях [10-11]. Динамическое изображение в режиме реального времени позволяет наблюдать динамику изменений в кровотоке после введения контрастного вещества, что позволяет обнаружить в первые 24 часа изменения и прогнозировать развитие некроза, а также получить количественные гемодинамические параметры (чувствительность 100%, специфичность 95%), что важно для мониторинга изменений поджелудочной железы и планирования лечения [12-14].

Так, были проведены исследования, направленные на определение оптимальных параметров для показателей перфузионной компьютерной томографии с последующим созданием математической модели для обработки полученных данных [15]. Но все же этот вопрос находится на стадии изучения, и требует дальнейших исследований.

Цель исследования – оценить результаты КТ-перфузии в оценке площади некроза поджелудочной железы при остром панкреатите.

Материалы и методы. В рамках данного исследования проведено проспективное обследование 42 пациентов (18 женщин, 24 мужчины, средний возраст 38 ± 2 года) с подозрением на острый панкреатит, поступивших в Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр хирургии имени В.Вахидова, г. Ташкент. Основным критерием включения в исследование была длительность заболевания, не превышающая 3 суток с момента появления первых клинических симптомов, характерных для острого панкреатита. Пациентам при подозрении на острый панкреатит проводилось исследование КТ-перфузия поджелудочной железы в первые сутки от начала симптомов, затем в последующие 3-5 суток проведено более детальное исследование с болюсным внутривенным контрастным усилением (КТ-ангио) для подтверждения развития некроти-

ческих изменений, и для сравнения зон некроза на компьютерной томографии с зонами ишемии на цветовых гемодинамических картах перфузионной компьютерной томографии.

Перфузионная компьютерная томография поджелудочной железы проводилась на 128-срезовом компьютерном томографе GE OPTIMA 660.

Перфузионная компьютерная томография является «расширением» обычной, бесконтрастной рентгеновской компьютерной томографии, что дает возможность изучения гемодинамики на капиллярном уровне [16,17]. В этом плане она является естественным дополнением к КТ-ангиографии (КТА) брюшной полости позволяющей оценить состояние брюшной аорты и ее ветвей [18,19].

Йодсодержащее контрастное вещество с концентрацией йода 350 мг/мл вводили через правую медиальную локтевую вену. Были использованы следующие параметры сканирования: напряжение трубки 80 Кв, сила тока 220 мАс, скорость вращения трубки 0,33с, толщина среза 5 мм, интервал реконструкции 5 мм, матрица 523x512, FOV 39 мм, время сканирования 60 сек.

Сначала выполнялось нативное сканирование, для определения зоны интереса, затем последующее внутривенное введение контрастного вещества, равное половине их веса (например с весом 80 кг вводили 40 мл контрастного вещества) и 40 мл физиологического раствора со скоростью потока 4,5-6,5 мл/с, из расчета за 8 сек. Сканирование осуществлялось с одновременным введением контрастного вещества, чтобы обеспечить получение двух групп изображений (эквивалентно обычному сканированию) до усиления аорты.

Проводилось сканирование всего объема поджелудочной железы с захватом прилежащих отделов, а также кровоснабжающих её артерий и вен. КТ-перфузия поджелудочной железы выполнялась перед многофазной КТ-ангиографией брюшной полости у пациентов с аденокарциномой протоков поджелудочной железы (PDAC) либо через 20 минут после портальной фазы, в зависимости от цели. Эффективная доза облучения при перфузионной компьютерной томографии составляла 4-6.2 мЗв, которая несколько превышала дозу облучения при обычной КТ брюшной полости (2.5–3.5 мЗв).

Каждый компьютерный томограф имеет свои специфические перфузионные карты. Были проанализированы стандартные показатели перфузионных карт для 128-срезового компьютерного томографа GE OPTIMA 660:

BF скорость кровотока (blood-flow, мл/100 г/мин) – это скорость прохождения объема крови через заданный объем ткани в единицу времени;

BV объемный кровоток (blood-volume в мл/100 г) – общий объем крови в участке паренхимы, включает кровь как в капиллярах, так и в более крупных сосудах – артериях и венах;

TTP время достижения максимальной плотности КВ в ткани (time to peak, с) – указывает интервал времени в секундах между прибытием КВ в артериальное русло и достижением пиковой плотности в ткани-мишени;

МТТ среднее время прохождения КВ (mean transit time, с) – среднее время, за которое кровь проходит по сосудистому руслу выбранного участка ткани в секундах;

PS скорость возрастания плотности КВ в ткани (mean slope of increase) в ед.Н/с; показатель проницаемости стенок капилляров в интерстициальную фазу (permeability surface-area product в мл/100 г/мин).

Компьютерно-томографическая ангиография (КТА).

КТА проводилась на широкодетекторном 640-срезовым МСКТ «Aquilion One – 640» версии Genesis (Toshiba Medical Systems, Япония). Особенностью данной системы является возможность объемного сканирования области до 16 см за 0,275 сек, что позволяет проводить исследования за ультракороткий период без перемещения стола, следовательно, без артефактов от движения.

Критериями исключения для КТ ангиографии были следующие:

- пациенты с острой и хронической почечной недостаточностью с уровнем креатинина в сыворотке выше 2 мг/дл (177 ммоль/л) или с операцией по трансплантации почки в анамнезе;

- известная аллергия на йодконтрастное вещество;

- беременность;

- возраст до 15 лет;

- наличие металлических имплантатов (кардиостимулятора);

- невозможность проходить исследование МРТ из-за клаустрофобии;

- панкреонекроз.

Исследование пациентов проводилось в следующей последовательности:

1. Нативная КТ брюшной полости без введения контрастного препарата.

2. Артериальная фаза

3. Панкреатическая фаза

4. Порто-венозная фаза

Параметры сканирования которые использовались при исследовании и виды приемлемых вариантов реконструкции указаны в *табл. 1*.

Проведения КТ ангиографии начиналось с установки катетера в вену локтевого сгиба. Далее пациент укладывался на стол. Для в/в введения 100 мл йодсодержащего контрастного препарата, с концентрацией йода 350 мг/мл (Unigexol 350), со скоростью введения 4,5 мл/сек был использован автоматический шприц-насос фирмы «Ulrich» (Германия).

Параметры проведения исследования: коллимация рентгеновского пучка 5,0 мм, питч – 1,2. Болюс (контраст) – отслеживались автоматически при помощи программы «Bolus Tracking», с установкой точки «Trigger» на нисходящий отдел грудной аорты артериальной фазы, размещая реконструированные данные на карте 3D.

Постпроцессорная обработка осуществлялась на станции Vitrea с использованием программного обеспечения Abdomen angio.

Статистическая обработка осуществлялась на программном обеспечении MedCalc.

Результаты. Результаты перфузионной компьютерной томографии, проведенной в первые 3 суток с момента начала симптомов, показали зоны ишемического поражения ткани поджелудочной железы у 16 пациентов (38,1%) из 42. В последующие 3-5 суток при проведении КТ ангиографии поджелудочной железы развитие некротических изменений подтвердилось у 7 пациентов (16,7%). Локализация зоны некроза на КТ-ангио поджелудочной железы совпала с зонами ишемии на цветовых гемодинамических картах перфузионной компьютерной томографии.

В 9 случаях (21,4%) наблюдалось отсутствие прогрессирования ишемического поражения в ткани поджелудочной железы по результатам контрольной компьютерной томографии, что подтверждено последующим наблюдением за этой группой пациентов.

Таким образом, после анализа данных КТ-перфузии 26 пациентов имели признаки отека панкреатита, у 7 пациентов выявлены зоны формирования некроза поджелудочной железы и у остальных 9 больных отмечены зоны ишемического поражения ткани поджелудочной железы без прогрессирования. Сравнительные результаты перфузионных показателей представлены на *рис. 1-4*.

Таблица 1

Протокол сканирования КТ ангиографии брюшной полости

Table 1

Abdominal CT angiography scan protocol

Параметры	Артериальная фаза	Панкреатическая фаза	Порто-венозная фаза
Задержка сканирования	15-20 сек		
Продолжительность фаз исследования	+150 НУ	45 сек	55-65 сек
Автоматическое отслеживание болюса			
KV (напряжение на трубке)	120	120	120
Эффективная масса	140	140	140
Время оборота трубки	0,5 с	0,5 с	0,5 с
Ширина детекторов	16 см	16 см	16 см
Коллимация среза	0,625	0,625	0,625
Pitch factor	1,2	1,2	1,2
Инкремент	0,7 мм	1,2 мм	1,2 мм
Окно реконструкции	В 30 f	В 30 f	В 30 f
Варианты реконструкций	MIP, MPR,VRT	MIP, MPR,VRT	MIP, MPR,VRT
Автоматическое отслеживание болюса на + 120HU путем установки триггера на нисходящую дугу аорты			

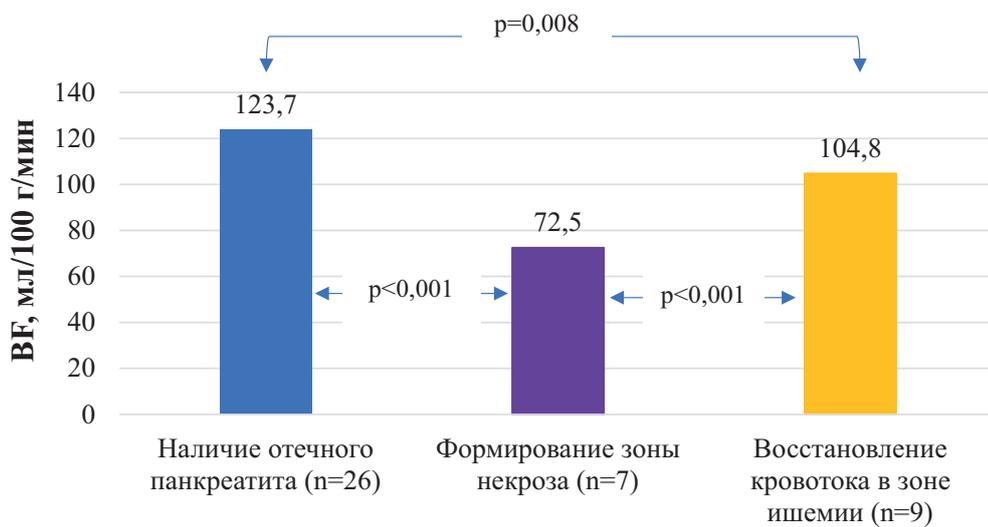


Рис. 1. Анализ усредненных показателей BF при ОП
Fig.1. Analysis of average BF indicators in AP

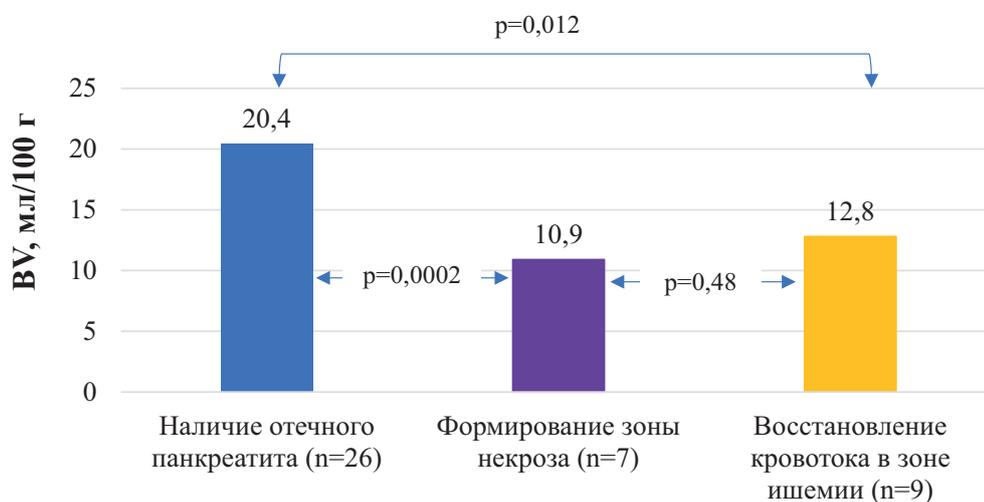


Рис. 2. Анализ усредненных показателей BV при ОП
Fig.2 Analysis of average BV indicators in AP

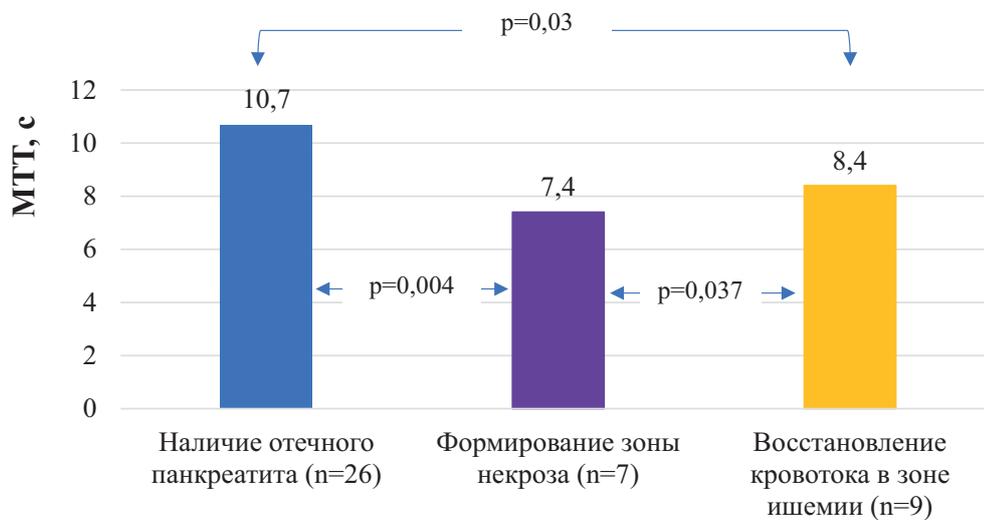


Рис. 3. Анализ усредненных показателей MTT при остром панкреатите
Fig.3. Analysis of average MTT indicators in acute pancreatitis

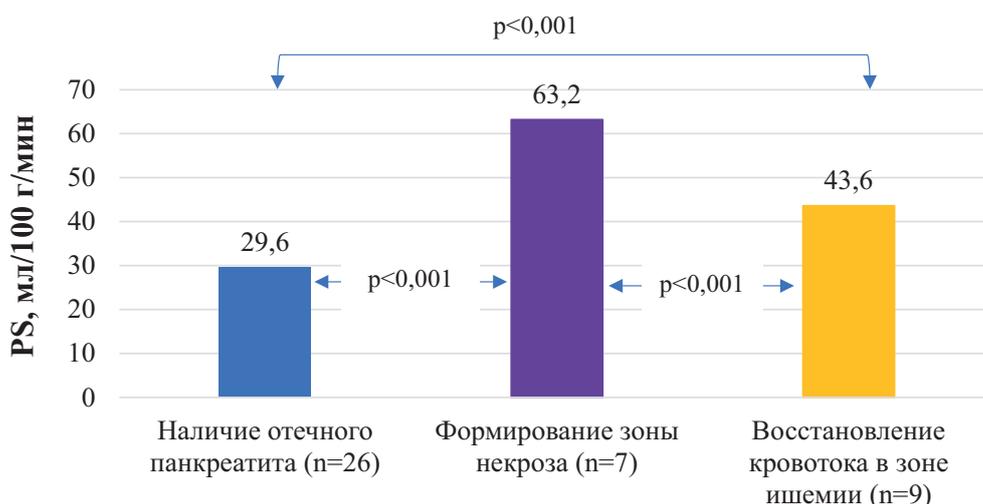


Рис. 4. Анализ усредненных показателей PS при остром панкреатите
Fig. 4. Analysis of average PS indicators in acute pancreatitis

Количественный анализ тканевого кровотока в поджелудочной железе на контрольной КТ-перфузии в различных состояниях позволил выделить некоторые закономерности [19].

В первой группе, состоящей из 26 человек (61,9%), отмечались значительно повышенные уровни кровотока (BF), объема крови (BV) и среднего времени прохождения (МТТ) в паренхиме поджелудочной железы. Средние значения скорости кровотока (BF) составляли $123 \pm 32,3$ мл/100г/мин, а объема крови (BV) – $20,7 \pm 6$ мл/100г. Средние значения времени прохождения контрастного вещества (МТТ) также увеличились до $10,7 \pm 3,5$ с. Проницаемость стенки капилляров (PS) умеренно повысилась, со средними показателями $29,3 \pm 10,8$ мл/100г/мин. Однако, проведенная КТ-ангиография на 3–5 суток не подтвердила развитие панкреонекроза у этих пациентов [20].

Во вторую группу, включившую 7 человек (21,4%), вошли пациенты с выявленными зонами ишемии при первичной перфузионной компьютерной томографии в первые сутки с начала проявлений острого панкреатита. Уровни средних показателей BF и BV снизились до $72,5 \pm 23,6$ мл/100г/мин и $10,9 \pm 2,8$ мл/100г соответственно. Среднее время прохождения контрастного вещества также было ниже нормы – $7,3 \pm 1,2$ с. В сравнении с первой группой, эти пациенты показали заметное повышение средних показателей проницаемости стенки капилляров до $63,2 \pm 8,1$ мл/100г/мин. На цветowych

картах зоны ишемии визуализировались очагами снижения перфузии. В последующих компьютерной томографии с контрастированием на 3–5 суток были подтверждены очаги некроза ткани.

Третью группу, включившую 9 пациентов (21,4%), характеризовало снижение средних показателей BF (до $104,8 \pm 23,3$ мл/100г/мин), BV (до $12,9 \pm 3,3$ мл/100г) и МТТ (до $8,8 \pm 2,7$ с). Однако, это снижение было менее интенсивным, чем в группе с прогрессированием ишемии. Последующая компьютерная томография с контрастным усилением не выявила прогрессирования ишемических изменений. Пациенты продолжали наблюдение, и последующие УЗИ и контрольная компьютерная томография при выписке не выявили деструктивных изменений в паренхиме железы, что свидетельствовало о регрессе ишемических изменений.

Обсуждение. В результате проведенного нами исследования было выявлено, что пациенты с отеком поджелудочной железы имели уменьшенный кровоток (BF $123,7 \pm 5,3$), повышенный объем крови (BV $20,4 \pm 1,8$) и увеличенную проницаемость сосудистой стенки (PS $3,5 \pm 0,72$). В зоне некроза отмечалось явное снижение кровотока (BF $72,5 \pm 3,7$), объема крови (BV $10,9 \pm 1,4$), а также ускорение времени транзита (МТТ $7,4 \pm 1,0$). При восстановлении кровотока в зоне ишемии наблюдается частичное восстановление BF и BV, а также нормализация МТТ и снижение уровня проницаемости сосудов (табл. 2).

Таблица 2

Анализ усредненных показателей BF, BV, МТТ и PS для поджелудочной железы

Table 2

Analysis of averaged BF, BV, MTT, and PS indicators for the pancreas

Показатели КТ-перфузии	Норма	Наличие отека поджелудочной железы (n=26)	Формирование зоны некроза (n=7)	Восстановление кровотока в зоне ишемии (n=9)
BF, мл/100г/мин	$136 \pm 6,74$	$123,7 \pm 5,3$	$72,5 \pm 3,7$	$104,8 \pm 4,1$
BV, мл/100 г	$16,6 \pm 0,67$	$20,4 \pm 1,8$	$10,9 \pm 1,4$	$12,8 \pm 2,2$
МТТ, с	$10,25 \pm 0,47$	$10,7 \pm 1,6$	$7,4 \pm 1,0$	$8,4 \pm 0,9$
PS, мл/100г/мин	$3,5 \pm 0,72$	$29,6 \pm 2,2$	$63,2 \pm 1,4$	$43,6 \pm 1,1$

Полученные нами данные подчеркивают важность КТ-перфузии в диагностике и оценке динамики состояния поджелудочной железы в ранней диагностике острого панкреатита в зависимости от характера ишемии и прогноза развития некроза поджелудочной железы [21,22].

В начальной фазе острого панкреатита наблюдается динамичное развитие воспаления с снижением перфузии тканей поджелудочной железы и перипанкреатических тканей (рис. 5). Хотя возможна полная регрессия таких изменений, существует также риск их прогрессирования до необратимого некроза [23]. У пациентов с тяжелым острым панкреатитом, обладающих высоким риском полиорганных осложнений и высокой смертностью, особенно важны диагностические методы, способные предсказать развитие некротических изменений в тканях поджелудочной железы (рис. 6,7).

Перфузионная компьютерная томография демонстрирует информативность в оценке вероятности развития панкреонекроза уже в первые сутки с появлением симптомов [24,25]. В сравнении с другими методами визуализации и оценки степени тяжести на основе клинической картины и

лабораторных тестов, перфузионная компьютерная томография проявляет высокую прогностическую ценность [26, 27].

Отличительной особенностью нашего исследования является проведение перфузионной компьютерной томографии при поступлении пациента в стационар в первые сутки с момента появления симптомов острого панкреатита [28, 29]. Это подчеркивает раннюю диагностическую роль данного метода и предоставляет дополнительные данные для прогнозирования тяжести состояния поджелудочной железы [30].

Считается, что мельчайшие изменения в паренхиме поджелудочной железы, которые могут быть выявлены с использованием контрастного усиления при компьютерной томографии, развиваются в течение 72-96 часов с момента появления первых симптомов заболевания [31].

В ходе нашего исследования подтверждается высокая чувствительность перфузионной компьютерной томографии к даже минимальным изменениям на уровне микрососудов в ткани ПЖЖ, что согласуется с результатами исследований Pieńkowska (2016), Божухиной (2021) и др.

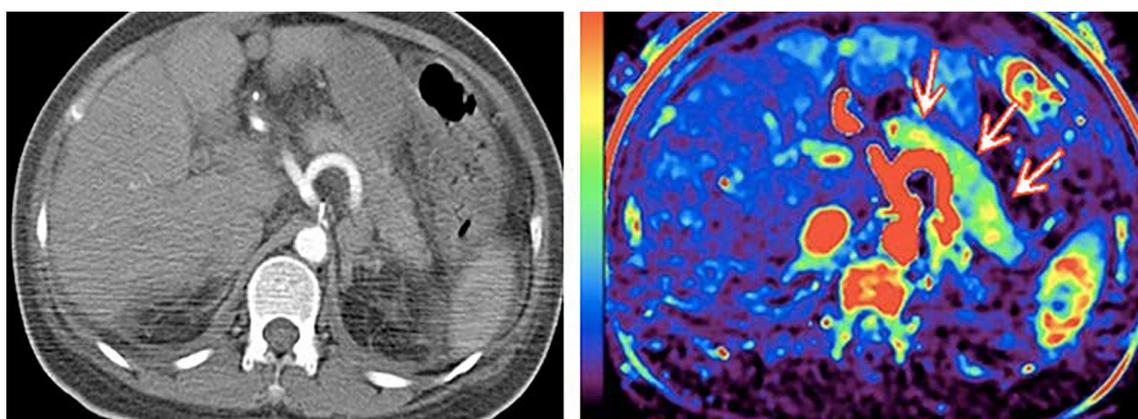


Рис. 5. Объемная (а) и перфузионная (б) компьютерные томограммы ПЖ (аксиальная проекция): отечный ОП без признаков ишемических изменений (стрелки)
Fig.5 Volume (a) and perfusion (b) computed tomograms of the pancreas (axial projection): edematous AP without the signs of ischemic changes (arrows)

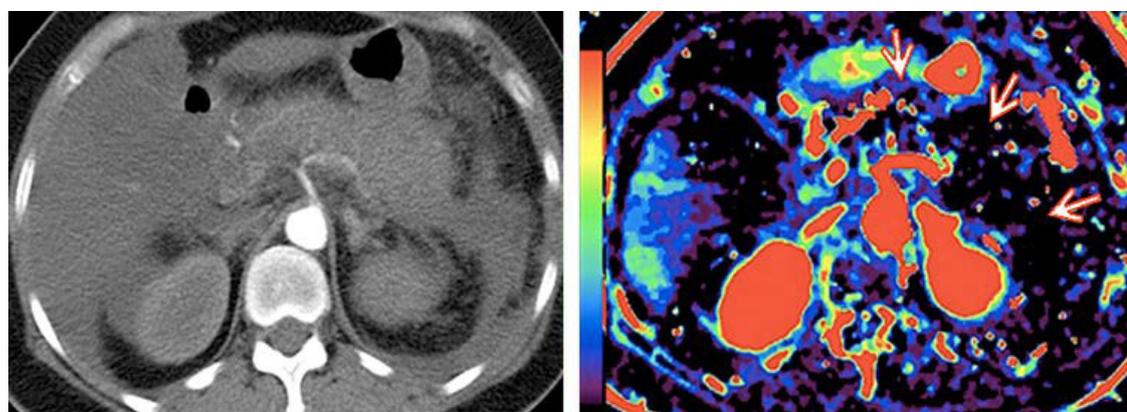


Рис.6. КТ-ангио (а) и ПКТ (б) ПЖЖ (аксиальная проекция): деструктивная форма острого панкреатита; визуализируются участки ишемического поражения паренхимы железы (стрелки)
Fig.6 CT-angio (a) and PCT (b) of pancreas (axial projection): destructive form of acute pancreatitis; areas of ischemic damage to the pancreas parenchyma are visible (arrows)

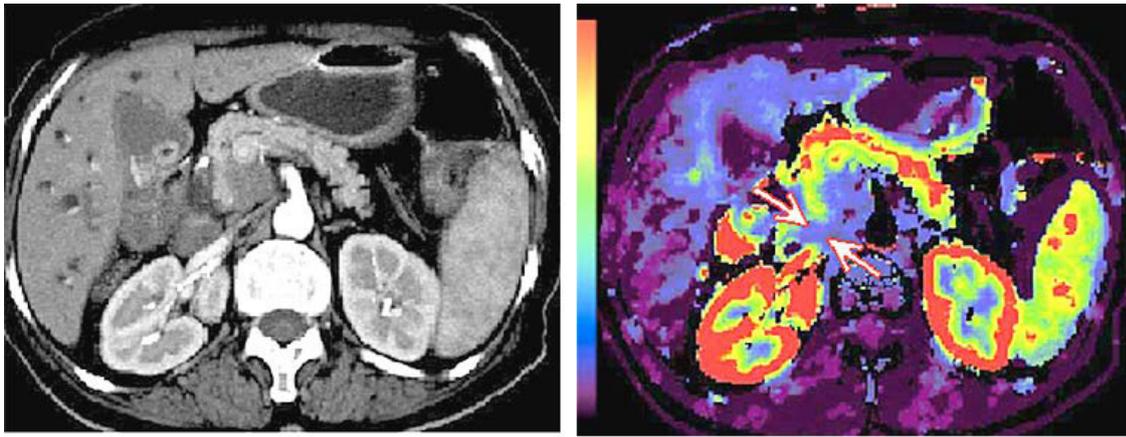


Рис. 7. Объемная (а) и перфузионная (б) компьютерные томограммы поджелудочной железы (аксиальная проекция): отечный острый панкреатитом; признаки снижения перфузии в области головки железы (стрелки)
 Fig.7 Volume (a) and perfusion (b) computed tomograms of the pancreas (axial projection): edematous acute pancreatitis; signs of decreased perfusion in the head of the pancreas(arrows)

Выводы. Таким образом, наше исследование подчеркивает эффективность перфузионной компьютерной томографии в раннем выявлении зон ишемии при остром панкреатите, обосновывая необходимость ее проведения непосредственно после поступления пациента в стационар. Параллельное выполнение перфузионной компьютерной томографии и последующей нативной компьютерной томографии предоставляет надежную информацию о всех процессах в поджелудочной железе и ее окружающих тканях, а также охватывает объем поражения и потенциальное развитие осложнений. Полученные данные количественных показателей перфузионной компьютерной томографии позволяют точно прогнозировать возможное развитие деструктивных форм панкреатита, что, в свою очередь, может помочь оптимизировать хирургическую тактику при разработке плана лечения для данной категории пациентов.

Прозрачность исследования. Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы несут полную ответственность за предоставление окончательной версии рукописи в печать. Было получено письменное согласие пациента на использование его изображения в данной публикации.

Декларация о финансовых и других взаимоотношениях. Все авторы принимали участие в разработке концепции и дизайна исследования и в написании рукописи. Окончательная версия рукописи была одобрена всеми авторами. Авторы не получали гонорар за исследование.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Бажухина И.В., Климова Н.В., Гаус А.А., Петрова Н.Н. Перфузионная компьютерная томография как предиктор развития тяжелых форм острого панкреатита при коронавирусной инфекции // Радиология – практика. – 2022. – Вып.3. – С.11-23. [Bazhukhina IV, Klimova NV, Gaus AA, Petrova NN. Perfusionnaya kompyuternaya tomografiya kak prediktor razvitiya tyazhelyx form ostrogo pankreatita pri koronavirusnoy infektsii [Perfusion computed tomography as a predictor of the development of severe forms of acute pancreatitis during coronavirus

- infection]. Radiologiya – praktika [Radiology – practitioner]. 2022; 3: 11–23. (In Russ.)). DOI: 10.52560/2713-0118-2022-3-11-23
2. Климова Н.В., Дарвин В.В., Бажухина И.В., Гаус А.А. Роль перфузионной компьютерной томографии как предиктора развития некроза поджелудочной железы при остром панкреатите // Радиология – практика. – 2021. – Вып.4. – С.11-21. [Klimova NV, Darwin VV, Bazhukhina IV, Gaus AA. Rol perfuzionnoy kompyuternoy tomografii kak prediktora razvitiya nekroza podjeludochnoy jelezy pri ostrom pankreatite [The role of perfusion computed tomography as a predictor of the development of pancreatic necrosis in acute pancreatitis]. Radiologiya – praktika [Radiology – practitioner]. 2021; 4: 11–23. (In Russ.)). DOI: 10.52560/2713-0118-2021-4-11-21
3. Ивашкин В.Т., Кригер А.Г., Охлобыстин А.В. Клинические рекомендации по диагностике и лечению хронического панкреатита // Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии. –2022– Том 32, вып. 2. – С.99–156. [Ivashkin VT, Krieger AG, Okhlobystin AV. Klinicheskie rekomendatsii po diagnostike i lecheniyu khronicheskogo pankreati [Clinical guidelines for the diagnosis and treatment of chronic pancreatitis]. Rossiyskiy jurnal gastroenterologii, hepatologii, koloproktologii [Russian Journal of Gastroenterology, Hepatology, Coloproctology] 2022; 32 (2): 99–156. (In Russ.)). DOI: 10.22416/1382-4376-2022-32-2-99-156
4. Aslan S, Nural MS, Camlidag I, Danaci M. Efficacy of perfusion CT in differentiating of pancreatic ductal adenocarcinoma from mass-forming chronic pancreatitis and characterization of isoattenuating pancreatic lesions. Abdom Radiol (NY). 2019; 44: 593–603. DOI: 10.1007/s00261-018-1776-9
5. Elbanna KY, Jang HJ, Kim TK. Imaging diagnosis and staging of pancreatic ductal adenocarcinoma: a comprehensive review. Insights Imaging. 2020 Apr 25; 11 (1): 58. DOI:10.1186/s13244-020-00861-y
6. Conroy T, Pfeiffer P, Vilgrain V, et al. Pan creatic cancer: ESMO Clinical Practice Guideline for diagnosis, treatment and follow-up. Ann Oncol. 2023 Nov; 34 (11): 987-1002. DOI: 10.1016/j.annonc.2023.08.009
7. Li P, Deng W, Xue H, et al. Weight-adapted ultra-low-dose pancreatic perfusion CT: radiation dose, image quality, and perfusion parameters. Abdom Radiol (NY). 2019 Jun; 44 (6): 2196-2204. DOI: 10.1007/s00261-019-01938-z
8. Maio F, Pasqualino V, Bertana L, et al. Pancreatic cancer detection with a non-contrast MR protocol: is it reliable.

- Radiol Med. 2023 Sep; 128 (9): 1035-46. DOI: 10.1007/s11547-023-01680-z
9. Yunusova LR, Khalmanov BA, Allanazarov OT, Ruzmetova ZB. Pharmacology of radiopaque agents contrast-induced nephropathy in post COVID-19 patients. *The Bulletin of Contemporary Clinical Medicine*. 2023; 16 (Suppl.2): 61-67. DOI: 10.20969/VSKM.2023.16(suppl.2).61-67
 10. Дюжева Т.Г., Пашковская А.А., Токарев М.В., [и др.]. Значение перфузионной КТ в прогнозировании глубокого некроза поджелудочной железы и планировании ранних вмешательств при тяжелом остром панкреатите // *Анналы хирургической гепатологии*. – 2023. – Т.28, вып.1. – С.53-61. [Dyuzheva TG, Pashkovskaya AA, Tokarev MV, et al. Znachenie perfuzionnoy KT v prognozirovanii glubokogo nekroza podjeludochnoy jelezy i planirovani ranix vmeshatelstv pri tyajelom ostrom pankreatite [The value of perfusion CT in predicting deep pancreatic necrosis and planning early interventions in severe acute pancreatitis]. *Annaly xirurgicheskoy gepatologii* [Annals of Surgical Hepatology]. 2023; 28 (1): 53–61. (In Russ.)]. DOI: 10.16931/1995-5464.2023-1-53-61
 11. Multimodal therapy with or without irreversible electroporation for unresectable locally advanced pancreatic adenocarcinoma: a systematic review and meta-analysis. *HPB*. 2022; 24 (5): 586-95. DOI: 10.1016/j.hpb.2021.12.014
 12. Skornitzke S, Vats N, Mayer P, Kauczor HU, Stiller W. Pancreatic CT perfusion: quantitative meta-analysis of disease discrimination, protocol development, and effect of CT parameters. *Insights Imaging*. 2023 Jul 21; 14 (1): 132. DOI: 10.1186/s13244-023-01471-0
 13. Agostini A, Borgheresi A, Bruno F, et al. New advances in CT imaging of pancreas diseases: a narrative review. *Gland Surg*. 2020; 9 (6): 2283-94. DOI: 10.21037/gs-20-551
 14. Piekowska J, Gwodziewicz K, Skrobisz-Balandowska K, et al. Perfusion-CT - can we predict acute pancreatitis outcome within the first 24 hours from the onset of symptoms? *PLoS One*. 2016; 11: e0146965. DOI: 10.1371/journal.pone.0146965
 15. Skornitzke S, Vats N, Mayer P, Kauczor HU, Stiller W. Pancreatic CT perfusion: quantitative meta-analysis of disease discrimination, protocol development, and effect of CT parameters. *Insights Imaging*. 2023; 14 (1): 132. DOI: 10.1186/s13244-023-01471-0
 16. Phillip V, Zahel T, Danninger A, et al. Volumetric gain of the human pancreas after left partial pancreatic resection: A CT-scan based retrospective study. *Pancreatology J*. 2015; 15: 542-7. DOI: 10.1016/j.pan.2015.06.007
 17. Djuric-Stefanovic A, Masulovic D, Kostic J, et al. CT volumetry of normal pancreas: correlation with the pancreatic diameters measurable by the cross-sectional imaging, and relationship with the gender, age, and body constitution. *Surg Radiol Anat*. 2012; 34: 811-817. DOI: 10.1007/s00276-012-0962-7
 18. Williams AJ, Thrower SL, Sequeiros IM, et al. Pancreatic volume is reduced in adult patients with recently diagnosed type 1 diabetes. *J Clin Endocrinol Metab*. 2012; 97: E2109-13. DOI: 10.1210/jc.2012-1815
 19. Yardimci S, Kara YB, Tuney D, et al. A Simple Method to Evaluate Whether Pancreas Texture Can Be Used to Predict Pancreatic Fistula Risk After Pancreatoduodenectomy. *J Gastrointest Surg*. 2015; 19: 1625-31. DOI: 10.1007/s11605-015-2855-7
 20. Lubner MG, Smith AD, Sandrasegaran K, et al. CT Texture Analysis: Definitions, Applications, Biologic Correlates, and Challenges. *Radiographics*. 2017; 37: 1483-503. DOI: 10.1148/rg.2017170056
 21. Yip SS, Aerts HJ. Applications and limitations of radiomics. *Phys Med Biol*. 2016; 61: R150-66. DOI: 10.1088/0031-9155/61/13/R150
 22. Canellas R, Burk KS, Parakh A, et al. Prediction of Pancreatic Neuroendocrine Tumor Grade Based on CT Features and Texture Analysis. *AJR Am J Roentgenol*. 2018; 210: 341-6. DOI: 10.2214/AJR.17.18417
 23. Chen X, Oshima K, Schott D, et al. Assessment of treatment response during chemoradiation therapy for pancreatic cancer based on quantitative radiomic analysis of daily CTs: An exploratory study. *PLoS One*. 2017; 12: e0178961. DOI: 10.1371/journal.pone.0178961
 24. Cassinotto C, Chong J, Zogopoulos G, et al. Resectable pancreatic adenocarcinoma: Role of CT quantitative imaging biomarkers for predicting pathology and patient outcomes. *Eur J Radiol*. 2017; 90: 152-158. DOI: 10.1016/j.ejrad.2017.02.033
 25. Eilaghi A, Baig S, Zhang Y, et al. CT texture features are associated with overall survival in pancreatic ductal adenocarcinoma - a quantitative analysis. *BMC Med Imaging*. 2017; 17: 38.
 26. Chartrand G, Cheng PM, Vorontsov E, et al. Deep Learning: A Primer for Radiologists. *RadioGraphics*. 2017; 37: 2113-2131. DOI: 10.1186/s12880-017-0209-5
 27. Canto MI, Harinck F, Hruban RH, et al. International Cancer of the Pancreas Screening (CAPS) Consortium summit on the management of patients with increased risk for familial pancreatic cancer. *Gut*. 2013; 62: 339-47. DOI: 10.1136/gutjnl-2012-303108
 28. Corrias G, Raeside MC, Agostini A, et al. Pilot study of rapid MR pancreas screening for patients with BRCA mutation. *Eur Radiol*. 2019; 29: 3976-85. DOI: 10.1007/s00330-018-5975-0
 29. Laghi A, Zerunian M, Caruso D. How new technologies could impact on radiology diagnosis and assessment of pancreatic lesions: Future perspectives. *Endosc Ultrasound*. 2018; 7: 310-3. DOI: 10.4103/eus.eus_47_18
 30. Schueller G, Schima W, Schueller-Weidekamm C, et al. Multidetector CT of pancreas: effects of contrast material flow rate and individualized scan delay on enhancement of pancreas and tumor contrast. *Radiology*. 2006; 241: 441-8. DOI: 10.1148/radiol.2412051107
 31. Cheung TT, Lee YT, Tang RS, et al. The Hong Kong consensus recommendations on the diagnosis and management of pancreatic cystic lesions. *Hepatobiliary Surg Nutr*. 2023 Oct 1; 12 (5): 715-735. DOI: 10.21037/hbsn-22-471