

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПЕРФУЗИИ ТРАНСПЛАНТАТА ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ С ПОМОЩЬЮ ДИНАМИЧЕСКОЙ ОБЪЕМНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

Муслимов Р.Ш.¹, Терновой С.К.^{2,3}, Серова Н.С.², Анисимов Ю.А.¹,
Сторожев Р.В.¹, Пинчук А.В.¹

Цель исследования. Представить возможности и методические аспекты выполнения низкодозовой динамической объемной компьютерной томографии с анализом перфузии у пациентов после трансплантации поджелудочной железы как неинвазивного метода комплексной оценки трансплантата.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 25 пациентов (12 мужчин, 13 женщин) в возрасте от 24 до 54 лет, которым была выполнена сочетанная трансплантация поджелудочной железы и почки по поводу сахарного диабета I типа. Всем пациентам проводилась динамическая объемная компьютерная томография (КТ) всего панкреатодуоденального комплекса с оценкой перфузионных показателей с помощью 640-срезового компьютерного томографа.

Результаты. По данным динамической КТ ни в одном случае не было выявлено инфильтративно-деструктивных изменений паренхимы трансплантата поджелудочной железы (ТПЖ), расширения главного панкреатического протока, патологических жидкостных скоплений в брюшной полости и забрюшинном пространстве. У 13 пациентов не было выявлено, каких-либо сосудистых осложнений. Средняя скорость объемного артериального кровотока (АФ) всей паренхимы ТПЖ составило $114,2 \pm 26,5$ мл/мин/ на 100 г. У 10 пациентов было выявлено отсутствие кровотока по верхней брыжеечной артерии, кровоснабжение ТПЖ осуществлялось за счет единственной селезеночной артерии. Средний показатель АФ всей паренхимы ТПЖ составил $127,5 \pm 31$ мл/мин на 100 г. Отсутствие контрастирования по обеим артериям ТПЖ в сочетании с выраженным снижением показателей перфузии было выявлено у двух пациентов. Средний расчетный объем контрастного вещества составил 30 ± 6 мл.

Выводы. Представленный в работе алгоритм применения методики дает возможность объемной визуализации всего панкреатодуоденального комплекса и его сосудистой ножки с расчетом количественных показателей артериального кровотока. Динамическая объемная КТ с оценкой перфузии внутренних органов является более совершенным и информативным методом обследования, чем рутинная компьютерная томография.

Ключевые слова: сочетанная трансплантация поджелудочной железы и почки, динамическая объемная компьютерная томография, КТ-перфузия внутренних органов.

Контактный автор: Муслимов Р.Ш., e-mail: abaevr@mail.ru

Для цитирования: Муслимов Р.Ш., Терновой С.К., Серова Н.С., Анисимов Ю.А., Сторожев Р.В., Пинчук А.В. Методика оценки перфузии трансплантата поджелудочной железы с помощью динамической объемной компьютерной томографии. REJR 2017; 7(4):74-82. DOI:10.21569/2222-7415-2017-7-4-74-82.

Статья получена: 20.11.17

Статья принята: 04.12.17

A TECHNIQUE OF EVALUATING OF PANCREAS GRAFT PERFUSION USING DYNAMIC VOLUME COMPUTED TOMOGRAPHY

Muslimov R.SH.¹, Ternovoy S. K.^{2,3}, Serova N.S.², Anisimov Yu.A.¹,
Storozhev R.V.¹, Pinchuk A.V.¹

Purpose. To present the possibilities and methodological aspects of performing low-dose dynamic volume computed tomography with perfusion analysis in patients after pancreas transplantation as a non-invasive method of complex graft evaluation.

Materials and methods. The study involved 25 patients (12 men and 13 women) aged 24 to 54 years who underwent combined pancreatic and kidney transplantation for Type I diabetes mellitus. All patients underwent dynamic volume computed tomography (CT) of the whole pancreato-duodenal complex with evaluation of perfusion indices using a 640-slice CT-scanner.

Results. According to the dynamic CT data, no infiltrative or destructive changes of the pancreatic graft (PG) parenchyma; dilatation of the main pancreatic duct, pathological fluid accumulations in the abdominal cavity and retroperitoneal space also was not found. There were no vascular complications in 13 patients. The mean arterial blood flow (AF) of the whole parenchyma of the PG was 114.2 ± 26.5 ml / min / 100 g. In 10 patients, there was no blood flow along the superior mesenteric artery; the blood supply to the PG was mediated by a single splenic artery. The mean whole PG's AF was 127.5 ± 31 ml / min / 100 g. The absence of contrast on both PG's arteries combined with a severe decrease in perfusion values was detected in two patients. The average volume of contrast medium was 30 ± 6 ml.

Conclusions. The algorithm of technique application presented in the work allows the volume visualization of the entire pancreatoduodenal complex and its vascular pedicle, with the calculation of quantitative values of the arterial blood flow. A dynamic volume CT with an evaluation of the body perfusion is a more perfect and informative survey method than routine computed tomography.

Keywords: simultaneous combined pancreas and kidney transplantation, dynamic volume computed tomography, CT body-perfusion.

Corresponding author: Muslimov R. Sh., e-mail: abaevr@mail.ru

For citation: Muslimov R.SH., Ternovoy S. K., Serova N.S., Anisimov Yu.A., Storozhev R.V., Pinchuk A.V. A technique of evaluating of pancreas graft perfusion using dynamic volume computed tomography. REJR 2017; 7(4):74-82. DOI:10.21569/2222-7415-2017-7-4-74-82.

Received: 20.11.17

Accepted: 04.12.17

Одним из методов оценки кровотока в органах и тканях является перфузионная компьютерная томография (ПКТ), основанная на динамической регистрации параметров изменения плотности в зоне интереса. Изучение кривой изменения концентрации контрастного вещества позволяет получить ряд количественных показателей перфузии, отражающих характеристики микроциркуляции в исследуемом органе [1 - 5]. Возможности и принципы ПКТ внутренних органов были впервые описаны в работах Miles с соавторами в 1993 г. в исследованиях пациентов с очаговыми поражениями печени [5]. Дальнейший технический прогресс и появление новых поколений компьютерных томографов дали толчок к широкому развитию ПКТ парен-

химатозных органов, которая стала применяться в основном для диагностики и мониторинга онкологических заболеваний [3, 6 - 11].

Одной из пионерских работ по праву можно считать исследование Vader T.R. с соавторами (1998 г.), где впервые были описаны результаты применения КТ-перфузии печеночного трансплантата у 30 реципиентов как метода неинвазивной диагностики трансплантат-ассоциированных осложнений [12]. Известно, что сосудистые осложнения после трансплантации поджелудочной железы встречаются с частотой от 2% до 22% и являются одной из частых причин дисфункции и утраты трансплантата [13 - 15]. Определение таких осложнений с помощью неинвазивных методов инструментальной диагностики (УЗИ, КТ, МРТ) вошло в

рутинную практику и, как правило, не составляет особых сложностей [16 - 20]. В то же время, изучая эти данные, возникает вопрос – насколько значимым является то или иное сосудистое осложнение, насколько выраженным является ишемическое страдание трансплантата, не приведет ли это к снижению функции либо некрозу пересаженного органа? Таким образом, возникает необходимость поиска новых путей и методов количественной оценки кровотока в трансплантате.

В настоящей работе впервые детально представлены методические аспекты применения динамической объемной КТ и анализа полученных данных у пациентов после трансплантации поджелудочной железы.

Материалы и методика выполнения.

С помощью динамической объемной КТ было исследовано 25 пациентов (12 мужчин, 13 женщин) после сочетанной трансплантации поджелудочной железы и почки. Единственным показанием для выполнения операции был сахарный диабет 1 типа, осложненный диабетической нефропатией в терминальной стадии хронической почечной недостаточности. Возраст пациентов варьировал от 24 до 54 лет и в среднем составил $37,6 \pm 6,7$ года.

Учитывая практически вертикальное расположение трансплантата поджелудочной железы и необходимость одновременной оценки параметров кровотока во всех ее отделах, оптимальным было использование компьютерного томографа с максимальной шириной поля детекторов (рис. 1). В такой ситуации наиболее подходящим стал 640-срезовый прибор с шириной зоны исследования равной 16 см (Aquilion One Vision, Toshiba). Исследование проводилось в сроки от 2-х месяцев до 6 лет после операции.

В исследовании применялась стандартная укладка пациентов на спине с заведенными за голову руками. Перед исследованием проводился устный инструктаж обследуемых во избежание форсированного дыхания. Кроме того, с целью минимизации двигательных артефактов брюшной стенки во время дыхания зона живота фиксировалась стандартными полужесткими лентами-фиксаторами в виде корсета.

Первым этапом выполнялось пилотное нативное КТ-исследование, на основании которого проводилась разметка зоны интереса. Данное исследование выполнялось без задержки дыхания, включало в себя всю брюшную полость и малый таз.

Вторым этапом проводилось динамическое исследование, которое охватывало зону шириной 16 см. Применялся низкодозовый протокол Abdominal Tumor Perfusion, продолжительность сбора данных которого около 100 секунд, что позволило получить информацию

обо всех этапах прохождения контрастного препарата через трансплантат поджелудочной железы.

Важным моментом при этом являлась точная разметка зоны интереса, включавшая в себя панкреатодуоденальный комплекс, которую определяли по данным нативного исследования. Стоит отметить, что томография при динамическом протоколе не постоянная, а прерывистая, т.е. сбор данных идет только в те промежутки времени, когда необходимо получить точную визуализацию (рис. 2). Кроме того, такого типа исследование позволяет снизить лучевую нагрузку на пациента.

Технические параметры сбора данных представлены в таблице №1. Применение современного алгоритма AIDR 3D (адаптивного итеративного протокола) также способствует снижению дозы с одновременным улучшением качества изображения за счет снижения шума.

Контрастное вещество (КВ) с концентрацией йода 370 мг/мл всем больным вводилось с помощью автоматического иньектора в заранее установленный центральный венозный катетер диаметром 16G, из расчета 0,5 мл на килограмм массы пациента. Средний расчетный объем контрастного вещества составил 30 ± 6 мл. Согласно рекомендациям производителя, время введения контрастного вещества не должно превышать 6,0 с, поэтому скорость его введения составляла 6-7 мл/с. Вслед за КВ вводился физиологический раствор с той же скоростью, в объеме 50 мл.

Постобработка и анализ массива полученных данных выполнялся стандартно по методу Maximum Slope на рабочей станции Vitrea (Vital inc. США). Согласно этому методу, скорость объемного артериального кровотока – Arterial Flow (AF) – в ткани рассчитывается как отношение концентрации КВ в аорте к максимальному градиенту концентрации в ткани и измеряется в мл/100мл/мин. Под градиентом концентрации подразумевается отношение разницы концентраций за какой-либо промежуток времени к длительности этого промежутка.

Анализ полученных данных КТ включал в себя несколько этапов:

1. Оценка нативной серии томограмм всей брюшной полости и забрюшинного пространства.
2. Оценка данных динамической КТ с определением размеров и структуры ТПЖ, состояния главного панкреатического протока, визуализацией артериальной и венозной архитектоники трансплантата, а также при возможности – зоны дренирующего межкишечного соустья (рис. 3).
3. Расчет параметров артериальной перфузии ТПЖ путем точного очерчивания контуров на серии аксиальных срезов (рис. 4).

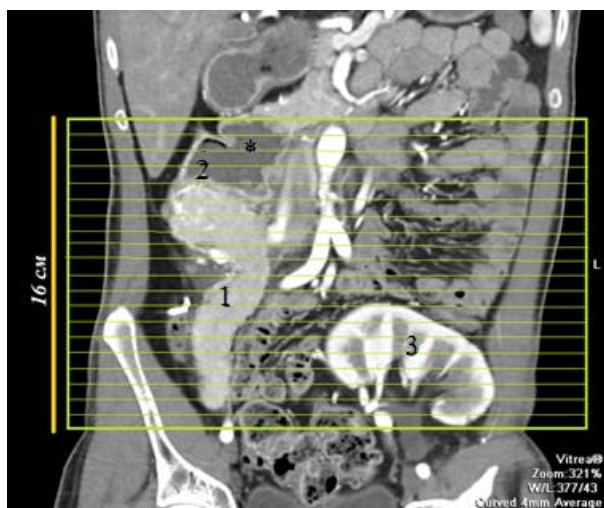


Рис. 1 (Fig. 1)

Рис. 1. МСКТ, фронтальная реконструкция, контрастное усиление после сочетанной трансплантации поджелудочной железы и почки.

Забрюшинно справа визуализируется панкреодуоденальный комплекс – трансплантат поджелудочной железы (1) и фрагмент 12-перстной кишки донора (2). По верхнему контуру 12-перстной кишки донора визуализируется широкое междуоденальное соустье (звездочка). В подвздошной области слева – трансплантат почки (3).

Fig. 1. MSCT, frontal reconstruction, contrast enhancement after combined pancreas and kidney transplantation.

The pancreoduodenal complex - the pancreas graft (1) and the duodenum donor fragment (2) - is visualized on the right side by the retroperitoneal view. On the upper contour of the donor's duodenum, a wide interintestinal anastomosis (asterisk) is visualized. In the iliac region to the left - a kidney transplant (3).

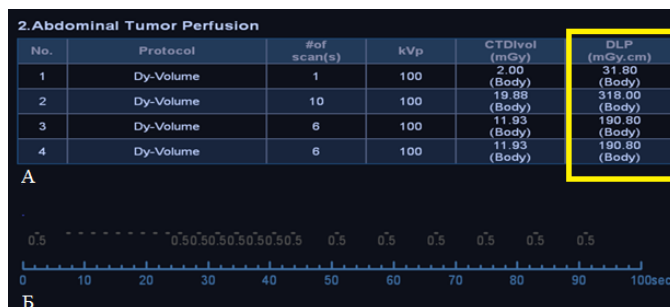


Рис. 2 (Fig. 2)

Рис. 2. Алгоритм динамического исследования при использовании протокола Abdominal Tumor Perfusion.

а - Видно, что весь массив КТ-данных состоит из 23 серий, которые были получены в определенные временные интервалы. Также приведены показатели DLP, необходимые для расчета поглощенной дозы (выделено желтым).

б - определенные временные интервалы.

Fig. 2. The algorithm of dynamic scanning using the protocol Abdominal Tumor Perfusion.

Figure a shows that the entire array of CT data consists of 23 series, which were obtained at certain time intervals (Fig. b). The DLP indices necessary to calculate the absorbed dose (highlighted in yellow).

Таблица №1. Технические параметры сбора данных динамической КТ для используемого протокола (Abdominal Tumor Perfusion).

Tube voltage	100kV
Tube current	60mA
Slice thickness	0.5 mm
Rotation time	0.5 sec
Scanning range	160mm
Matrix	512x512

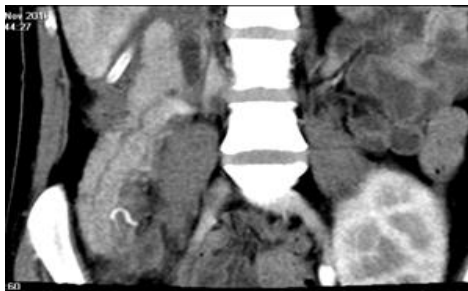


Рис. 3 а (Fig. 3 а)

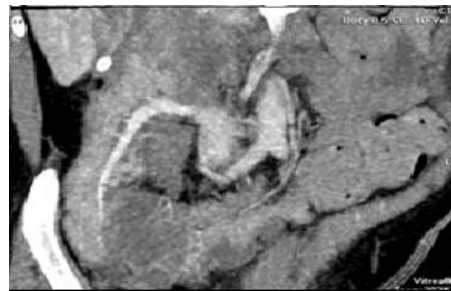


Рис. 3 б (Fig. 3 в)



Рис. 3 в (Fig. 3 с)



Рис. 3 г (Fig. 3 д)

Рис. 3. Динамическая объёмная КТ.

а, б - фронтальные реконструкции; в, г - трехмерные реформации из массива данных динамической объемной КТ позволяют оценить артерии и вены ТПЖ, состояние главного панкреатического протока и структуру паренхимы.

Fig. 3. Dynamic volume CT.

а, б - frontal reconstruction; в, г - three-dimensional reformation. Data allows evaluating the arteries and veins of PG, the state of the main pancreatic duct and the structure of the parenchyma.

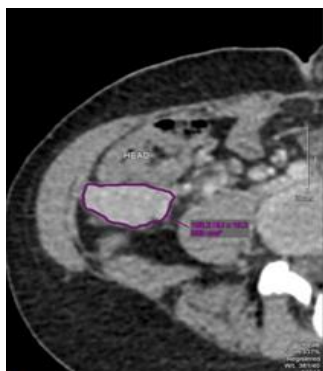


Рис. 4 а (Fig. 4 а)

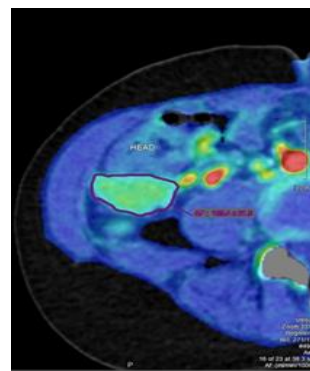


Рис. 4 б (Fig. 4 в)

Рис. 4. МСКТ. Методика расчета показателей артериальной перфузии на уровне головки ТПЖ.

а – аксиальная реконструкция, б – перфузионный срез.

На аксиальной реконструкции вручную производится точное очерчивание контуров паренхимы трансплантата на нескольких уровнях с исключением просвета крупных сосудов. Синхронно на перфузионном срезе отображается скорость объемного артериального кровотока (AF).

Fig. 4. MSCT. Method for calculating arterial perfusion indices at the level of the PG head.

а – axial reconstruction, б – perfusion section.

The contours of the transplant parenchyma are manually delineated on several levels, with the exception of the lumen of large vessels. Synchronously on the perfusion section, the arterial blood flow (AF) is displayed.

Первый и второй этапы анализа данных КТ требуют знания техники выполнения операции и новых анатомо-топографических соотношений после трансплантации, и в то же время не отличаются от протокола описания рутинного исследования брюшной полости.

Последний этап – это определение показателей артериального кровотока, т.е. АФ в ТПЖ, который отражает количество крови, протекающей в единице объема исследуемой ткани. Для этого данные динамической КТ обрабатывались на рабочей станции в специальном приложении Body Perfusion, которое позволяет получить перфузионные карты как в аксиальной плоскости, так и в мультипланарных реконструкциях. Предварительно выполняемая процедура регистрации позволяет исключить или свести к минимуму двигательные артефакты, которые могут быть вызваны дыханием.

Затем на аксиальных срезах, на уровнях головки, тела и хвоста ТПЖ, вручную выполнялось точное очерчивание контуров трансплантата с исключением просвета крупных сосудов. Синхронно на перфузионном срезе отражаются усредненные параметры АФ, медианы которых в последующем могут использоваться для статистического анализа.

Также в приложении регистрировались кривые артериального и паренхиматозного усиления в трансплантате, по данным которых рассчитывалось время максимального пика (ТТР) КВ в паренхиме органа. Эти данные также могут быть использованы для оценки адекватности кровотока в ТПЖ.

Эффективная доза лучевой нагрузки на пациента рассчитывалась в соответствии с «Европейским руководством по критериям качества для компьютерной томографии» [21].

Результаты.

Анализ полученных данных показал, что в исследованной группе не было выявлено инфилтративно-деструктивных изменений паренхимы ТПЖ, расширения главного панкреатического протока, патологических жидкостных скоплений в брюшной полости и забрюшинном пространстве. В одном случае было выявлено диффузное расширение донорской части 12-перстной кишки, однако убедительных данных за стеноз межкишечного анастомоза не было получено.

Обработка данных динамической КТ и полученных ангиограмм показала, что в исследованной группе было 13 пациентов без каких-либо сосудистых осложнений, т.е. ТПЖ кровоснабжался по двум артериям – селезеночной и верхней брыжеечной. Среднее значение АФ для всей паренхимы ТПЖ составило $114,2 \pm 26,5$ мл/мин/ на 100 г. Среднее время паренхиматозного пика составило 23 с.

У 10 пациентов было выявлено отсутствие

кровотока по верхней брыжеечной артерии (рис. 5). Кровоснабжение ТПЖ осуществлялось по одной селезеночной артерии, при этом проксимальные отделы железы кровоснабжались за счет развитой сети внутренних межартериальных коллатералей. Среднее значение АФ для всей паренхимы ТПЖ составило $127,5 \pm 31$ мл/мин на 100 г. Среднее время паренхиматозного пика составило 21 с.

Отсутствие контрастирования по обеим артериям ТПЖ в сочетании с атрофическими изменениями его паренхимы было выявлено у двух пациентов (рис. 6). Среднее значение АФ у них составило: $50,5 \pm 34$ мл/мин на 100 г, а среднее время паренхиматозного пика – 40 с.

Полученные параметры перфузии в различных отделах ТПЖ, а также распределение пациентов в зависимости от ангиографических находок в трансплантате представлены в таблице №2.

Эффективная доза лучевой нагрузки на пациента (E) рассчитывалась по формуле:

$$E = DLP \times Edlp,$$

где Edlp – нормализованная эффективная доза для конкретной области исследования (коэффициент Edlp для брюшной полости составляет 0,015). DLP на каждое исследование составил 730 мГр/см. Таким образом, эффективная доза лучевой нагрузки на пациента при динамической КТ составила 10,9 мЗв.

Заключение.

Резюмируя собственные данные и результаты исследований других авторов, можно уверенно сказать, что динамическая объемная томография с ПКТ внутренних органов является более совершенным и информативным методом обследования, чем рутинная компьютерная томография. В то же время недостаточно широкое применение метода объясняется различиями технических параметров сбора и постобработки данных в зависимости от фирмы производителя, а также отсутствием единых норм КТ-перфузии для каждого органа. В связи с этим на сегодняшний день отмечается недостаточное количество фундаментальных исследований в этой сфере, которые могли бы значительно расширить области применения метода.

Представленные в работе методические подходы исследования и анализа полученных данных позволяют за короткий промежуток времени получить всю необходимую информацию как о состоянии ТПЖ, так и об остальных органах брюшной полости и забрюшинного пространства. Использование 640-срезового компьютерного томографа дает уникальную возможность динамической объемной визуализации всего панкреатодуоденального комплекса и его сосудистой ножки.

Применение КТ-перфузии позволяет получить количественные параметры артериального



Рис. 5 (Fig. 5)

Рис. 5. Динамическая объёмная КТ, трехмерная реконструкция, артериальная фаза.

Визуализируется протяженная окклюзия верхней брыжеечной артерии ТПЖ. Кровоток в головке ТПЖ сохранен за счет внутриорганных перетоков из бассейна селезеночной артерии.

Fig. 5. Dynamic volume CT, three-dimensional reconstruction, arterial phase.

An extensive occlusion of the superior mesenteric artery of the PG is visualized. The blood flow in the head of PG is preserved due to intra-organic collaterals from the splenic artery.

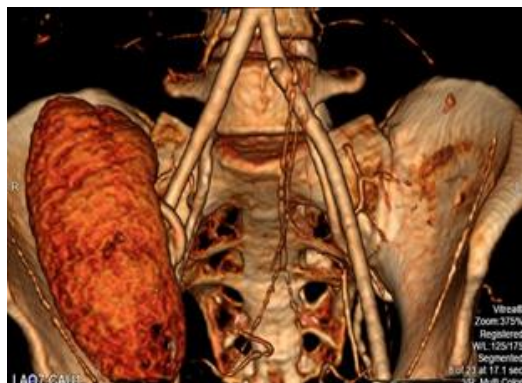


Рис. 6 а (Fig. 6 а)

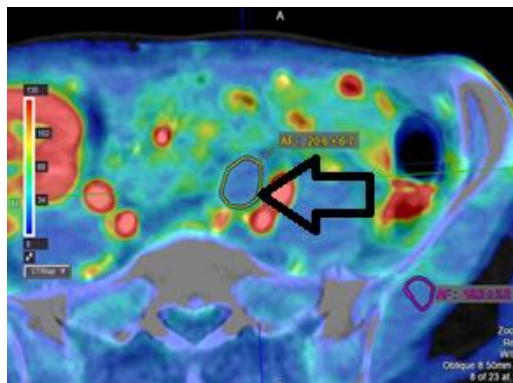


Рис. 6 б (Fig. 6 в)

Рис. 6. Динамическая объёмная КТ.

а – трехмерная реконструкция, артериальная фаза. Визуализируется окклюзия обеих артерий ТПЖ.
б – аксиальный срез ПКТ, резкое снижение показателей артериальной перфузии ТПЖ (стрелка).

Fig. 6. Dynamic volume CT.

а - three-dimensional reconstruction, arterial phase. The occlusion of both arteries of the graft is determined.
б - axial scan of Perfusion CT, a sharp decrease of arterial perfusion index of the PG (arrow).

Таблица №2. Средние значения артериальной перфузии ТПЖ в зависимости от его сосудистой анатомии.

Вариант кровоснабжения ТПЖ	ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРФУЗИИ				
	АФ (мл/мин на 100мл)				ТТР
	Головка	Тело	Хвост	Весь орган	
Кровоснабжение ТПЖ двумя артериями, (n=13)	117,2	113	104	114,3	23
Кровоснабжение ТПЖ одной артерией, (n=10)	137	126	125	127,5	21
Окклюзия обеих артерий ТПЖ, (n=2)	43,5	51,5	56,5	50,5	40
p*	0,29	0,12	0,29	0,009	0,03

АФ- скорость объемного артериального кровотока. ТТР - время максимальной концентрации КВ в паренхиме ТПЖ.

кровотока в различных отделах пересаженного органа, что может стать основанием для определения степени выраженности сосудистых нарушений. Таким образом, ПКТ является простым и относительно безопасным методом диагностики и мониторинга осложнений у пациентов после трансплантации поджелудочной же-

лезы.

Источник финансирования и конфликт интересов.

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие финансовой поддержки исследования и конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

Список литературы:

- Miles K.A. *Perfusion imaging with computed tomography: brain and beyond.* Eur. Radiol. 2006; 16, Suppl 7: M37-43.
- Kambadakone A.R., Sahani D.V. *Body perfusion CT: technique, clinical applications, and advances.* Radiol. Clin. North Am. 2009; 47 (1): 161-178. DOI: 10.1016/j.rcl.2008.11.003.
- Нерестюк Я.И. *КТ-перфузия при опухолях поджелудочной железы. Медицинская визуализация.* 2015; (3): 57-67.
- Ng C.S., Chandler A.G., Wei W., Herron D.H., Anderson E.F., Kurzrock R. et al. *Reproducibility of CT Perfusion parameters in liver tumors and normal liver.* Radiolog. 2011; 260 (3): 762-770. DOI: 10.1148/radiol.11110331.
- Miles K.A., Hayball M.P., Dixon A.K. *Functional images of hepatic perfusion obtained with dynamic CT.* Radiology. 1993; 188 (2): 405-411.
- Нестеров Д.В., Розенгауз Е.В. *Динамическая компьютерная томография у больных раком поджелудочной железы. Оценка перфузии в опухоли и в паренхиме железы вне ее. Медицинская визуализация.* 2014; (2): 68-74.
- Miles K.A., Colyvas K., Griffiths M.R., Bunce I.H. *Colon cancer: risk stratification using hepatic perfusion CT.* Eur. Radiol. 2004; 14, (Suppl 2): 129.
- Мухаматуллина Э.З., Кондрашин С.А., Терновой С.К. *Роль объемной динамической компьютерной томографии в сравнении с различными методами визуализации в топической диагностике инсулином. Медицинская визуализация.* 2014; (2): 75-80.
- Sahani D.V., Holalkere N-S., Mueller P.R., Zhu A.X. *Advanced hepatocellular carcinoma: CT perfusion of liver and tumor tissue - initial experience.* Radiology. 2007; 243 (3): 736 - 743. DOI:10.1148/radiol.2433052020
- Xu J., Liang Z., Hao S., Zhu L., Ashish M., Jin C. et al. *Pancreatic adenocarcinoma:dynamic 64_slice helical CT with perfusion imaging.* Abdom. Imaging. 2009; 34 (6): 759-766.
- Klauss M., Stiller W., Fritz F., Kieser M., Werner J., Kauczor H.U. et al. *Computed tomography perfusion analysis of pancreatic carcinoma.* J. Comput. Assist. Tomogr. 2012; 36 (2): 237-242. DOI: 10.1097/RCT.0b013e31824a099e.
- Bader T.R., Herneth A.M., Blaicher W., Steinger R., Muhlbacher F., G. Lechner et al. *Hepatic perfusion after liver transplantation: noninvasive measurement with dynamic single-section CT.* Radiology. 1998; 209 (1): 129-134. DOI:10.1148/radiology.209.1.9769823
- Freund M.C., Steurer W., Gassner E.M., Unsinn K.M., Rieger M., Koenigsrainer A. et al. *Spectrum of imaging findings after pancreas transplantation with enteric exocrine drainage: part 1: Posttransplantation anatomy.* Am. J. Roentgenol. 2004; 182 (2): 911-917.
- Eubank W.B., Schmiedl U.P., Levy A.E., Marsh C.L. *Venous thrombosis and occlusion after pancreas transplantation: evaluation with breath-hold gadolinium-enhanced three-dimensional MR imaging.* Am. J. Roentgenol. 2000; 175 (2): 381-385. DOI:10.2214/ajr.175.2.1750381
- Dobos N., Roberts A.D., Insko E.K., Siegelman E.S., Naji A., Markmann J.F. et al. *Contrast-enhanced MR angiography for evaluation of vascular complications of the pancreatic transplant.* Radiographics. 2005; 25 (3): 687-695. DOI:10.1148/rg.253045094
- Vandermeer F.Q., Manning M.A., Frazier A.A., Wong-You-Cheong J.J. *Imaging of whole-organ pancreas transplants.* Radiographics. 2012; 32 (2): 411-435. DOI: 10.1148/rg.322115144.
- Chen J.L., Lee R.C., Shyr Y.M., Wang S.E., Tseng H.S., Wang H.K. et al. *Imaging Spectrum after Pancreas Transplantation with Enteric Drainage.* Korean J. Radiol. 2014; 15 (1): 45-53. DOI: 10.3348/kjr.2014.15.1.45.
- Tolat P.P., Foley W.D., Johnson C., Hohenwalter M.D., Quiroz F.A. *Pancreas Transplant Imaging: How I Do It.* Radiology. 2015; 275 (1): 14-27. DOI: 10.1148/radiol.15131585.
- Пинчук А.В., Дмитриев И.В., Селина И.Е., Муслимов Р.Ш., Лапина Е.А., Пархоменко М.В. и др. *Роль лучевых методов диагностики при сочетанной трансплантации почки и поджелудочной железы. Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии.* 2015; (6): 18-24.
- Хубутия М.Ш., Муслимов Р.Ш., Попова И.Е., Новерузбеков М.С., Пинчук А.В. *Возможности компьютерной и магнитно-резонансной томографии в диагностике осложнений после трансплантации печени, почки и поджелудочной железы. Трансплантология.* 2015; (3): 37-46.
- Valentin J. (ed.) *Managing patient dose in multi-detector computed tomography (MDCT).* Annals of the ICRP (International Commission on Radiological Protection). Publicat. 102. Elsevier, 2007. 79p.

References:

- Miles K.A. *Perfusion imaging with computed tomography: brain and beyond.* Eur. Radiol. 2006; 16, Suppl 7: M37-43.
- Kambadakone A.R., Sahani D.V. *Body perfusion CT: technique, clinical applications, and advances.* Radiol. Clin. North Am. 2009; 47 (1): 161-178. DOI: 10.1016/j.rcl.2008.11.003.
- Nesteryk Ya.I. *CT-perfusion in pancreatic tumors. Medical imaging.* 2015; (3): 57-67 (in Russian).
- Ng C.S., Chandler A.G., Wei W., Herron D.H., Anderson E.F., Kurzrock R. et al. *Reproducibility of CT Perfusion parameters in liver tumors and normal liver.* Radiolog. 2011; 260 (3): 762-770. DOI: 10.1148/radiol.11110331.
- Miles K.A., Hayball M.P., Dixon A.K. *Functional images of hepatic perfusion obtained with dynamic CT.* Radiology. 1993; 188 (2): 405-411.

6. Nesterov D.V., Rozengauz E.B. Dynamic computed tomography at patients with pancreatic cancer/ Perfusion analysis in the tumor and pancreatic parenchyma. *Medical imaging*. 2014; (2): 68-74 (in Russian).
7. Miles K.A., Colyvas K., Griffiths M.R., Bunce I.H. Colon cancer: risk stratification using hepatic perfusion CT. *Eur. Radiol*. 2004; 14, (Suppl 2): 129.
8. Mukhamatullina E.Z., Kondrashin S.A., Ternovoy S.K. Role of dynamic volume computed tomography in comparison with different visualization methods in the topical diagnosis of Insulinomas. *Medical imaging*. 2014; (2): 75-80 (in Russian).
9. Sahani D.V., Holalkere N-S., Mueller P.R., Zhu A.X. Advanced hepatocellular carcinoma: CT perfusion of liver and tumor tissue - initial experience. *Radiology*. 2007; 243 (3): 736 - 743. DOI:10.1148/radiol.2433052020
10. Xu J., Liang Z., Hao S., Zhu L., Ashish M., Jin C. et al. Pancreatic adenocarcinoma:dynamic 64_slice helical CT with perfusion imaging. *Abdom. Imaging*. 2009; 34 (6): 759-766.
11. Klauss M., Stiller W., Fritz F., Kieser M., Werner J., Kauczor H.U. et al. Computed tomography perfusion analysis of pancreatic carcinoma. *J. Comput. Assist. Tomogr*. 2012; 36 (2): 237-242. DOI: 10.1097/RCT.0b013e31824a099e.
12. Bader T.R., Herneth A.M., Blaicher W., Steinger R., Muhlbacher F., G. Lechner et al. Hepatic perfusion after liver transplantation: noninvasive measurement with dynamic single-section CT. *Radiology*. 1998; 209 (1): 129-134. DOI:10.1148/radiology.209.1.9769823
13. Freund M.C., Steurer W., Gassner E.M., Unsinn K.M., Rieger M., Koenigsrainer A. et al. Spectrum of imaging findings after pancreas transplantation with enteric exocrine drainage: part 1: Posttransplantation anatomy. *Am. J. Roentgenol*. 2004; 182 (2): 911-917.
14. Eubank W.B., Schmiedl U.P., Levy A.E., Marsh C.L. Venous thrombosis and occlusion after pancreas transplantation: evaluation with breath-hold gadolinium-enhanced three-dimensional MR imaging. *Am. J. Roentgenol*. 2000; 175 (2): 381-385. DOI:10.2214/ajr.175.2.1750381
15. Dobos N., Roberts A.D., Insko E.K., Siegelman E.S., Naji A., Markmann J.F. et al. Contrast-enhanced MR angiography for evaluation of vascular complications of the pancreatic transplant. *Radiographics*. 2005; 25 (3): 687-695. DOI:10.1148/rg.253045094
16. Vandermeer F.Q., Manning M.A., Frazier A.A., Wong-You-Cheong J.J. Imaging of whole-organ pancreas transplants. *Radiographics*. 2012; 32 (2): 411-435. DOI: 10.1148/rg.322115144.
17. Chen J.L., Lee R.C., Shyr Y.M., Wang S.E., Tseng H.S., Wang H.K. et al. Imaging Spectrum after Pancreas Transplantation with Enteric Drainage. *Korean J. Radiol*. 2014; 15 (1): 45-53. DOI: 10.3348/kjr.2014.15.1.45.
18. Tolat P.P., Foley W.D., Johnson C., Hohenwalter M.D., Quiroz F.A. Pancreas Transplant Imaging: How I Do It. *Radiology*. 2015; 275 (1): 14-27. DOI: 10.1148/radiol.15131585.
19. Pinchuk A.V., Dmitriev I.V., Selina I.E., Muslimov R.Sh., Lashina Ye.A., Parkhomenko M.V. et al. Role of radiological methods of diagnostics at simultaneous pancreas-kidney transplantation. *The Russian journal of gastroenterology, hepatology, coloproctology*. 2015; (6): 18-24 (in Russian).
20. Khubutiya M.Sh., Muslimov R.Sh., Popova I.E., Novruzbekov M.S., Pinchuk A.V. The possibilities of computed and magnetic resonance imaging in the diagnosis of complications after liver, kidney and pancreas transplantation. *Transplantology*. 2015; (3): 37-46 (in Russian).
21. Valentin J. (ed.) *Managing patient dose in multi-detector computed tomography (MDCT)*. Annals of the ICRP (International Commission on Radiological Protection). Publicat. 102. Elsevier, 2007. 79 p.