

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1463>

## Объемная КТ-перфузия печени при портальной гипертензии: диагностический потенциал и клиническое значение

© Джураева Н.М., Вахидова Н.Т.\*, Амирхамзаев А.Т., Абдухалимова Х.В., Султанов А.Т., Хурсанова Д.Х., Миртаджиева З.Д., Магзумова С.Х.

ГУ “Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр хирургии имени академика В. Вахидова”; 100115 Ташкент, ул. Кичикхалкайули, д. 10, Республика Узбекистан

**Актуальность.** В современных исследованиях акцент делается на анализ гемодинамических изменений в печени при диффузных заболеваниях, а также на роль механизмов, повышающих артериальную перфузию при снижении портального кровотока. Диффузные заболевания печени со временем приводят к фиброзу и риску развития цирроза, инвазивная биопсия остается единственным точным методом для стадирования у пациентов данной группы. Неинвазивные диагностические подходы, включая эластографию и шкалу оценки Child–Pugh, обеспечивают эффективную оценку степени тяжести цирроза печени. Перфузионная КТ (ПКТ) позволяет определить функциональное состояние гепатоцитов и определить их микроциркуляцию. Метод безопасен, обладает высокой разрешающей способностью и предоставляет комплексные параметры перфузии печени. Широкодетекторные компьютерные томографы позволяют нивелировать различные артефакты, получить перфузионные изображения печени за один оборот рентгеновской трубки и расширяют диагностические возможности данной методики.

**Цель исследования:** оценка диагностической эффективности объемной ПКТ в определении степени выраженности гемодинамических нарушений у пациентов с портальной гипертензией (ПГ) с учетом уровня блока портального кровообращения.

**Материал и методы.** В проспективном исследовании приняло участие 110 пациентов, разделенных на 4 группы: 63 пациента с циррозом печени (ЦП) (блок на уровне внутripеченочного постсинусоидального кровообращения); 10 пациентов с фиброзом печени (ФП) (блок на уровне внутripеченочного пресинусоидального кровообращения); 13 пациентов с ПГ внепеченочной этиологии (блок на уровне подпеченочного кровообращения), 24 пациента контрольной группы – доноры фрагмента печени. В рамках исследования оценивались показатели перфузии печени, такие как артериальная перфузия (AP), портальная перфузия (PP) и печеночно-перфузионный индекс (HPI).

**Результаты.** Наиболее выраженные отклонения перфузии печени верифицированы при подпеченочном блоке (ВПП) с существенным ростом печеночного индекса ( $35,6 \pm 1,5\%$ ;  $p < 0,001$ ). При ЦП с постсинусоидальным блоком отмечено достоверное снижение портальной фракции (указать значения ПФ), компенсаторное увеличение артериального кровотока до  $41,4 \pm 0,7$  мл/100 мл/мин и соответственно более высокий рост печеночного индекса ( $23,8 \pm 0,4\%$ ;  $p < 0,001$ ). Парадоксальные изменения показателей перфузии с формированием гиперкинетического типа кровообращения и увеличением портального кровотока относительно нормативных значений до  $169,4 \pm 5,0$  мл/100 мл/мин ( $p < 0,01$ ) получены при ФП.

**Закключение.** Полученные результаты подтверждают диагностическую эффективность объемной КТ-перфузии и ее значимость в оценке, прогнозировании выраженности гемодинамических нарушений у пациентов с учетом уровня блока портального кровообращения.

**Ключевые слова:** перфузионная КТ; цирроз печени; фиброз печени; портальная гипертензия

**Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.**

**Для цитирования:** Джураева Н.М., Вахидова Н.Т., Амирхамзаев А.Т., Абдухалимова Х.В., Султанов А.Т., Хурсанова Д.Х., Миртаджиева З.Д., Магзумова С.Х. Объемная КТ-перфузия печени при портальной гипертензии: диагностический потенциал и клиническое значение. *Медицинская визуализация*. 2025; 29 (1): 51–61. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1463>

Поступила в редакцию: 16.03.2024.

Принята к печати: 22.01.2025.

Опубликована online: 14.02.2025.



# Role of volumetric CT perfusion of the liver in portal hypertension considering the level of portal circulation blocking: a prospective study

© Nigora M. Djuraeva, Nargiza T. Vakhidova\*, Aibek T. Amirkhamzaev, Khanum V. Abdukhallimova, Alisher T. Sultanov, Dilnura Kh. Khursanova, Zilola D. Mirtadzhieva, Saodat Kh. Magzumova

State Institution "Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center for Surgery named after academician V. Vakhidov"; 10, Kichikkhalkayuli str., Tashkent 100115, Uzbekistan

**Relevance.** Modern studies focus on the analysis of hemodynamic changes in the liver in diffuse pathologies, as well as the role of mechanisms that increase arterial perfusion with a decrease in portal blood flow. Diffuse liver diseases eventually lead to fibrosis and the risk of cirrhosis, but invasive biopsy remains the only accurate method for staging. Non-invasive methods such as elastography and the Child–Pugh scale help assess the severity of liver cirrhosis. Perfusion CT (PCT) allows you to determine the functional state of hepatocytes and determine their microcirculation. The method is safe, has a high resolution and provides complex parameters of liver perfusion. Wide-detector CT allows you to level out various artifacts, obtain perfusion images of the liver in a single scan and expand the diagnostic capabilities of this technique.

**The aim:** to evaluate the diagnostic effectiveness of volumetric perfusion CT in determining the severity of hemodynamic disorders in patients with portal hypertension (PH), taking into account the level of blockage of the portal circulation.

**Materials and methods.** The prospective study involved 110 patients divided into four groups: 63 patients with liver cirrhosis (LC) (block at the level of the intrahepatic postsinusoidal circulation); 10 patients with liver fibrosis (LF) (block at the level of intrahepatic presinusoidal circulation); 13 patients with PH of extrahepatic etiology (block at the level of the subhepatic circulation), 24 patients in the control group, donors of the liver fragment. The study assessed liver perfusion parameters such as arterial perfusion (AP), portal perfusion (PP) and hepatic perfusion index (HPI).

**Results.** The most pronounced deviations in liver perfusion were verified in subhepatic block (SHB), with a significant increase in the liver index ( $35.6 \pm 1.5\%$ ;  $p < 0.001$ ). In cirrhosis with postsinusoidal block, there was a significant decrease in the portal fraction, a compensatory increase in arterial blood flow to  $41.4 \pm 0.7$  ml/100 ml/min and, accordingly, a higher increase in the liver index ( $23.8 \pm 0.4\%$ ;  $p < 0.001$ ). Paradoxical changes in perfusion parameters with the formation of a hyperkinetic type of blood circulation and an increase in portal blood flow relative to normative values up to  $169.4 \pm 5.0$  ml/100 ml/min ( $p < 0.01$ ) were obtained in AF.

**Conclusion.** The results confirm the diagnostic effectiveness of volumetric CT perfusion and its significance in assessing and predicting the severity of hemodynamic disorders in patients, taking into account the level of blockage of the portal circulation.

**Keywords:** perfusion CT; liver cirrhosis; liver fibrosis; portal hypertension

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

**For citation:** Djuraeva N.M., Vakhidova N.T., Amirkhamzaev A.T., Abdukhallimova Kh.V., Sultanov A.T., Khursanova D.Kh., Mirtadzhieva Z.D., Magzumova S.Kh. Role of volumetric CT perfusion of the liver in portal hypertension considering the level of portal circulation blocking: a prospective study. *Medical Visualization*. 2025; 29 (1): 51–61. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1463>

**Received:** 16.03.2024.

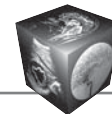
**Accepted for publication:** 22.01.2025.

**Published online:** 14.02.2025.

## Введение

В настоящее время наиболее актуальными исследованиями остаются изучение гемодинамических изменений в паренхиме печени на фоне диффузного патологического процесса и роль физиологических механизмов, повышающих артериальную перфузию органа, на фоне значительного снижения портального кровотока. Большинство диффузных заболеваний печени со временем при-

водят к формированию фиброза с риском развития цирроза. Единственный достоверный метод определения стадии заболевания – пункционная биопсия и последующее гистологическое исследование, но данный метод является инвазивным и сопряжен с осложнениями. В настоящее время определение степени тяжести цирроза печени основывается на клинических данных – шкале Child–Pugh, а основным неинвазив-



ным инструментальным методом считается эластография [1].

На сегодняшний день перфузионная компьютерная томография (ПКТ) предоставляет возможность оценки функционального состояния печени, а также количественного анализа параметров кровотока в тканях на определенном уровне сканирования. Этот метод основан на изучении накопления и динамики распределения контрастного вещества (КВ) в зоне интереса, что позволяет определить тип перфузии – ключевой показатель для выбора оптимальной тактики лечения и оценки его эффективности [2, 3]. Кроме того, в ряде исследований акцентируется внимание на высокой безопасности метода, его превосходном временном и пространственном разрешении, а также способности обеспечивать получение комплексных параметров перфузии печени [4].

ПКТ позволяет выявлять заболевания печени до появления морфологических изменений, дифференцировать доброкачественные и злокачественные новообразования. Многочисленные исследования подтверждают диагностическую ценность данного метода в оценке изменений в печеночной архитектонике и функции при хронических диффузных заболеваниях печени, а также адаптивных механизмах физиологии сосудов печени [5, 6].

Исследования параметров перфузии печени при хронических диффузных заболеваниях проводились в различных направлениях, включая анализ и сопоставление КТ- и МРТ-показателей, а также их корреляцию с клиническими данными [6].

В ряде работ оценивали разницу показателей ПКТ при циррозе печени (ЦП) и у здоровых лиц с такими органами, как селезенка и поджелудочная железа. С целью нивелирования артефактов и получения полной информации о перфузионных данных печени ряд работ были выполнены на широкодетекторных компьютерных томографах [7, 8].

В исследованиях D. Vonekamp (2012) и N. Wang (2022) была проведена оценка взаимосвязи тяжести фиброза, ЦП и гемодинамических нарушений при помощи определения фракции артериального усиления, а также изменения гемодинамики печени у пациентов с ЦП на фоне гепатита В [9–11].

В работах J. Dong и соавт. (2023) были изучены перфузионные показатели печени и селезенки при портальной гипертензии (ПГ) до и после операции TIPS. В послеоперационном периоде наблюдалось значительное увеличение печеночного артериального кровотока и значительное снижение селезеночного объема кровотока [12].

Несмотря на значительное количество исследований в данной области, анализ литературы

указывает на наличие недостаточно изученных аспектов применения ПКТ. В частности, большинство существующих исследований проводилось с использованием мультиспиральных компьютерных томографов предыдущих поколений, что подчеркивает актуальность изучения ПКТ, выполненной на современных широкодетекторных КТ-системах.

В исследованиях E. Talakić и соавт. (2017), как и в наших исследованиях, были получены перфузионные показатели AF, PF и HPI с использованием объемной КТ, где была определена высокая корреляционная связь между клиренсом селезенки (SCL) и ПГ у пациентов с ЦП при КТ-перфузии с чувствительностью 94% и специфичностью 100% в выявлении тяжелой степени ПГ [13]. Также в исследованиях H. Preibsch и соавт. (2017) было исследовано влияние портосистемных шунтов (ПСШ) на перфузию печени с использованием объемной ПКТ [14]. Хотя использование широкодетекторных компьютерных томографов позволяет получать достоверные перфузионные параметры, одним из ограничений данного метода по сравнению с другими типами КТ является невозможность оценки среднего времени транзита кровотока (МТТ).

## Материал и методы

Данное исследование одобрено локальным этическим комитетом ГУ “Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр хирургии имени академика В. Вахидова”, протокол №7 от 15 октября 2024 г.

Исследования проводились на 320-рядном широкодетекторном компьютерном томографе Aquilion One версии Genesis (Canon Medical Systems, Япония) в ГУ “Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр хирургии имени академика В. Вахидова” (Ташкент, Узбекистан). В исследовании приняло участие 110 пациентов в возрасте от 18 до 67 лет с диффузными заболеваниями печени, осложненными ПГ. Параметры сканирования были установлены следующим образом: напряжение рентгеновской трубки 100 кВ, ток 120 мА, время вращения гентри 0,5 с, толщина среза 320 x 0,5 мм, ширина детектора 16 см. Первоначально выполнялось нативное исследование для визуализации органов брюшной полости. Введение КВ осуществлялось с использованием бесколбового автоматического инжектора компании Ulrich (Германия) через кубитальный катетер диаметром 20 G. В качестве КВ применяли йодсодержащий препарат Biemexol (Iohexol®, Ankara, Турция) с концентрацией йода 350 мг/мл. Расчет разового объема



введения КВ и изотонического раствора натрия хлорида рассчитывался индивидуально: для массы тела 50–69 кг – 40 мл, 70–89 кг – 50 мл, >90 кг – 60 мл. Скорость введения составляла 6–8 мл/с в зависимости от массы тела (50–69 кг – 6 мл/с, 70–89 кг – 7 мл/с, >90 кг – 8 мл/с) [15, 16].

Общая продолжительность сканирования составляла 75 с (одно нативное сканирование с последующим 16-кратным сканированием каждые 2,5 с (от 12 до 50 с), затем 5 сканирований каждые 5 с).

Лучевая нагрузка, измеренная как продукт доза–длина (DLP), составила 1031,1 мГр·см для 21 объема сканирования, что эквивалентно эффективной дозе 15,4 мЗв (коэффициент преобразования  $k = 0,015$ ).

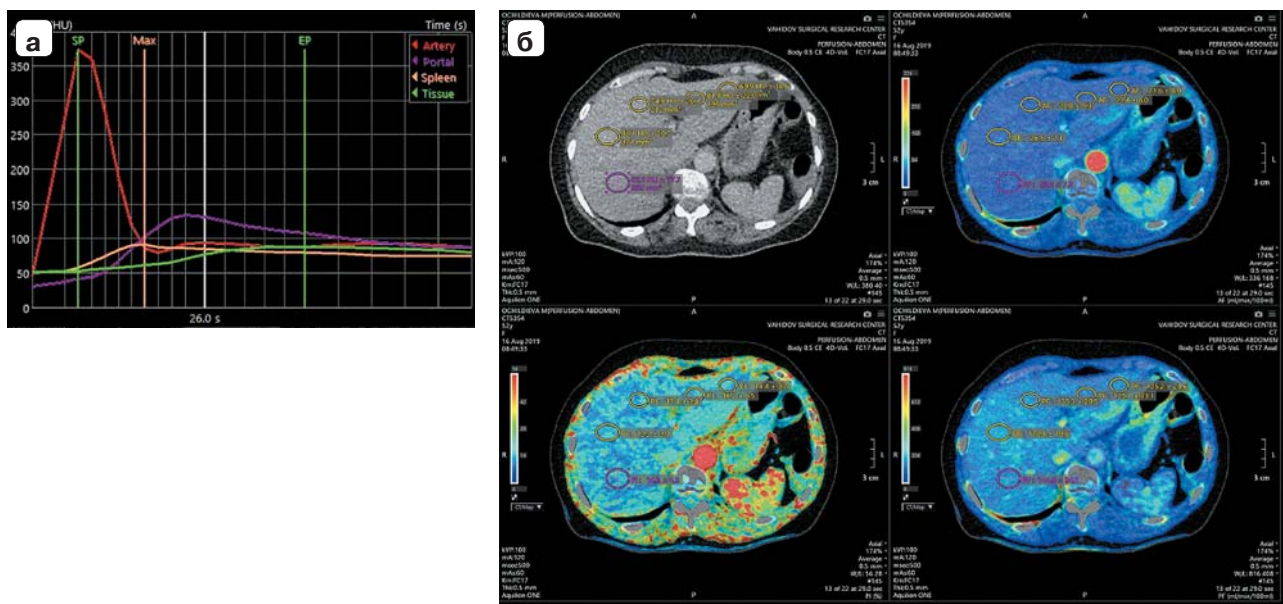
Постпроцессинг проводился на полуавтоматической станции Vitrea 7.4.0.462 (Canon Medical Systems) с использованием специальной программы “liver perfusion”. Для расчета перфузионных показателей применялась модель с двойным входом и максимальным наклоном. Область интереса в ручном режиме устанавливалась на брюшную аорту, воротную вену, паренхиму печени и селезенки. На основе полученных данных были построены перфузионные карты и временные кривые плотности (TDC). Сгенерированные

TDC позволили определить входную функцию печеночной артерии и портальной вены соответственно (рис. 1). Пиковая точка сформированных TDC селезенки использовалась для дифференциации циркуляции в печеночной артерии (до пика) и циркуляции в воротной вене (после пика).

С учетом уровня блока портального кровообращения пациенты были разделены на 4 группы: 63 пациента с ЦП (блок на уровне внутрипеченочного постсинусоидального кровообращения), 10 пациентов с фиброзом печени (ФП) (блок на уровне внутрипеченочного пресинусоидального кровообращения), 13 пациентов с внепеченочной ПГ (ВПГ), 24 пациента контрольной группы (доноры фрагмента печени) для определения нормальных значений перфузионных показателей печени (AF, PF, HPI) в сравнении с патологическими изменениями.

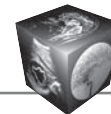
Перфузионные показатели изучались во всех сегментах печени – в общей сложности в 8 точках, то есть для 110 обследованных было получено 880 показателей AF (мл/100 мл/мин), PF (мл/100 мл/мин) и HPI (%).

Для каждого показателя были вычислены: среднее значение ( $M$ ), стандартное отклонение ( $\sigma$ ). Оценка статистической достоверности проводилась с использованием  $t$ -критерия Стьюдента.



**Рис. 1.** Модель перфузии печени с двойным входом и максимальным наклоном, с временной кривой плотности (TDC) для аорты, воротной вены, селезенки и печени (а) и параметрические изображения (б) артериального кровотока в печени (HAF; слева сверху), портального кровотока (PVF; слева снизу) и печеночного перфузионного индекса (HPI; справа снизу). Начальная точка – SP, конечная точка – EP, селезеночный максимум – Max.

**Fig. 1.** Dual-input, maximum-slope liver perfusion model with time density curve (TDC) for aorta, portal vein, spleen, and liver (a) and parametric images (b) of hepatic arterial flow (HAF; top left), portal blood flow (PVF; bottom left) and hepatic perfusion index (HPI; bottom right). Starting point – SP, ending point – EP, splenic maximum – Max.



## Результаты исследования

Анализ полученных данных при ПКТ печени показал статистически достоверные различия показателей при любом варианте блока портального кровотока и здоровыми субъектами, за исключением артериальной фракции при ФП (см. таблицу). Полученные значения (рис. 2) фракций перфузии печени показали высокую степень линейной зависимости изменений внутрипеченочного кровотока от этиологии ПГ по сравнению с нормативными параметрами.

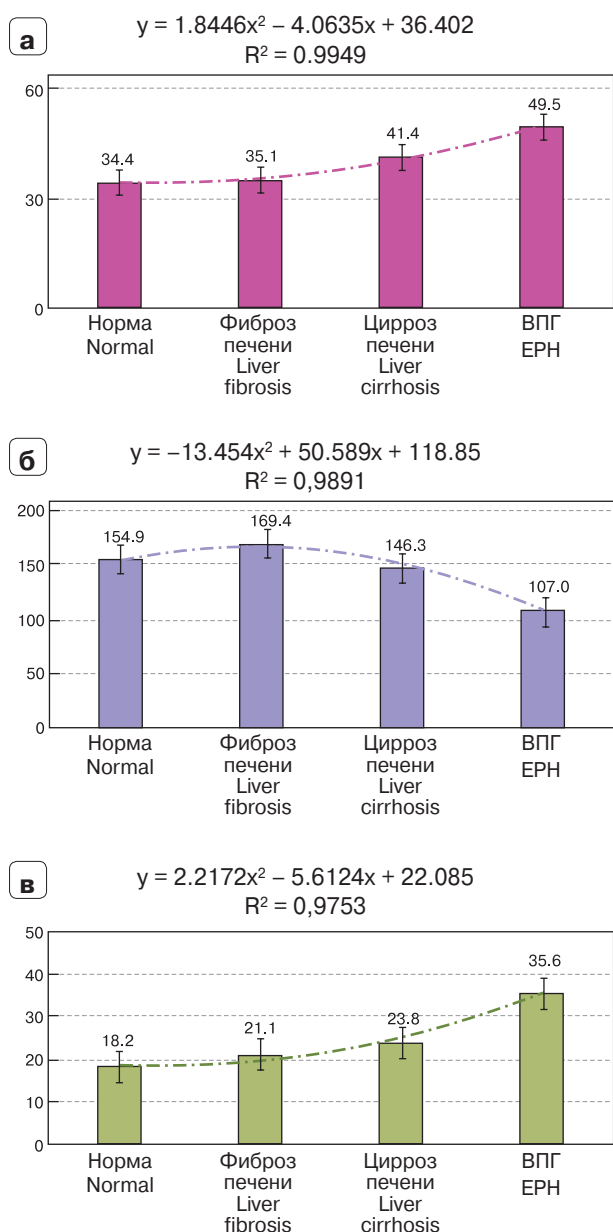
При ЦП определено снижение портального кровотока (PF) до  $146,3 \pm 3,1$  мл/100 мл/мин, в то время как нормальные показатели составляют –  $154,9 \pm 1,9$  мл/100 мл/мин ( $p < 0,05$ ). Соответственно снижению портальной фракции отмечено компенсаторное увеличение артериального кровотока (AF) до  $41,4 \pm 0,7$  мл/100 мл/мин при норме  $34,4 \pm 0,9$  мл/100 мл/мин ( $p < 0,001$ ). Указанные изменения обусловили повышение перфузионного индекса (PI) с его ростом по отношению к нормальным показателям ( $18,2 \pm 0,3$ ;  $p < 0,001$ ) за счет увеличения артериальной и уменьшения портальной фракции до  $23,8 \pm 0,4\%$ .

В отличие от нормальных показателей, при циррозе или фиброзе печени особенностью перфузионных показателей печени при ВПГ явилось максимальное отклонение фракций с самым низким показателем портального кровотока ( $107,0 \pm 5,5$  мл/100 мл/мин;  $p < 0,001$ ) и наиболее высоким компенсаторным увеличением артериальной фракции (до  $49,5 \pm 1,7$  мл/100 мл/мин;  $p < 0,001$ ). Это свидетельствует о том, что при формировании подпеченочного блока с частичным сохранением или полным отсутствием воротного кровотока значительная артериализация печени является результатом развития и прогрессирования ПГ в перинатальный период. Так, в 8 из 13 случаев ВПГ явилась результатом внутриутробного порока развития портальной системы – кавернозной трансформации воротной вены, в других 5 случаях тромбоз воротной вены или всего спленопортального русла был результатом ранней патологии новорожденных – пупочного сепсиса. Таким образом, особенностью формирования ПГ в перинатальный период является значительное снижение фракции портальной перфузии за счет частичного или полного блока воротного

**Таблица.** Показатели ПКТ печени при ПГ различного генеза

**Table.** Liver PCT parameters in PH of various origins

| Патология<br>Pathology                    | AF                   |          |     | PF                   |          |     | PI                    |          |     |
|-------------------------------------------|----------------------|----------|-----|----------------------|----------|-----|-----------------------|----------|-----|
|                                           | значение<br>value    | $\sigma$ | m   | значение<br>value    | $\sigma$ | m   | значение<br>value     | $\sigma$ | m   |
| Норма<br>Normal                           | 34.4                 | 11.9     | 0.9 | 154.9                | 26.2     | 1.9 | 18.2                  | 4.2      | 0.3 |
| Цирроз печени<br>Liver cirrhosis          | 41.4                 | 15.7     | 0.7 | 146.3                | 68.4     | 3.1 | 23.8                  | 9.2      | 0.4 |
| t-Критерий к норме<br>t-Test to normality | 6.32 ( $p < 0.001$ ) |          |     | 2.40 ( $p < 0.05$ )  |          |     | 10.94 ( $p < 0.001$ ) |          |     |
| Фиброз печени<br>Liver fibrosis           | 35.1                 | 15.1     | 1.8 | 169.4                | 42.2     | 5.0 | 21.1                  | 6.1      | 0.7 |
| t-Критерий к норме<br>t-Test to normality | 0.35 ( $p > 0.05$ )  |          |     | 2.73 ( $p < 0.01$ )  |          |     | 3.72 ( $p < 0.001$ )  |          |     |
| t-Критерий к ЦП<br>t-Test to LC           | 3.29 ( $p < 0.01$ )  |          |     | 3.97 ( $p < 0.001$ ) |          |     | 3.25 ( $p < 0.01$ )   |          |     |
| ВПГ<br>EPH                                | 49.5                 | 17.0     | 1.7 | 107.0                | 56.3     | 5.5 | 35.6                  | 15.5     | 1.5 |
| t-Критерий к норме<br>t-Test to normality | 8.04 ( $p < 0.001$ ) |          |     | 8.20 ( $p < 0.001$ ) |          |     | 11.23 ( $p < 0.001$ ) |          |     |
| t-Критерий к ЦП<br>t-Test to LC           | 4.46 ( $p < 0.001$ ) |          |     | 6.22 ( $p < 0.001$ ) |          |     | 7.49 ( $p < 0.001$ )  |          |     |
| t-Критерий к ФП<br>t-Test to LF           | 5.89 ( $p < 0.001$ ) |          |     | 8.40 ( $p < 0.001$ ) |          |     | 8.62 ( $p < 0.001$ )  |          |     |



**Рис. 2.** Показатели КТ-перфузии печени. **а** – артериальная фракция; **б** – портальная фракция; **в** – печеночный индекс.

**Fig. 2.** CT liver perfusion parameters. **а** – AF; **б** – PF; **в** – PI.

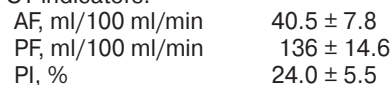
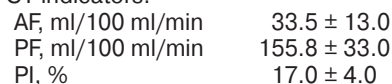
кровотока (показатели которой в нашем исследовании были максимально низкими). При этом формирование компенсаторного венозного притока к печени за счет развития неопортальных сосудов происходит в течение нескольких лет. Следовательно, в условиях выраженного снижения портальной перфузии параллельно с прогрессированием ПГ и компенсаторным развитием неопортальных венозных коллатералей происхо-

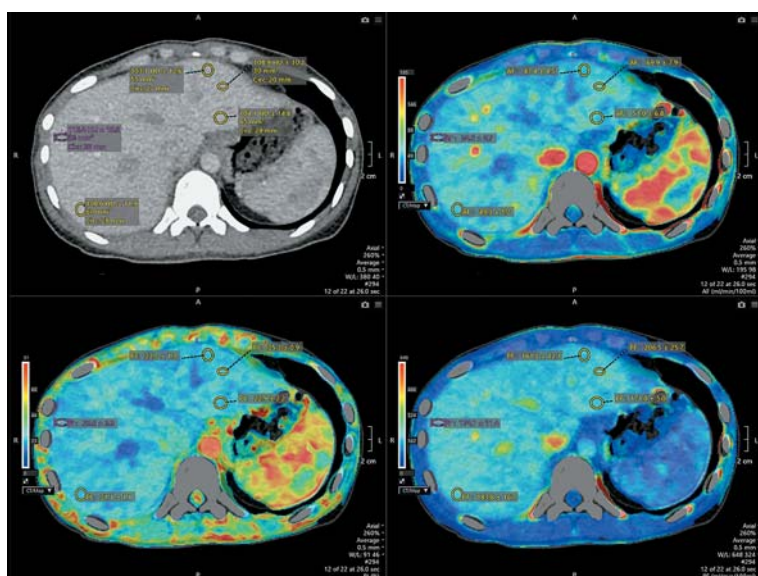
дит существенное перераспределение артериального кровоснабжения печени. Резервные возможности этой фракции печеночного кровотока с учетом перинатального периода характеризуются максимальной возможностью трансформации артериального русла. Именно поэтому в нашем исследовании уровень артериальной перфузии при ВПГ достигал максимальных значений –  $49,5 \pm 1,7$  мл/100 мл/мин, тогда как при ЦП артериальная фракция компенсаторно увеличилась в среднем только до  $41,4 \pm 0,7$  мл/100 мл/мин ( $p < 0,001$ ). Соответственно максимальному перераспределению фракций внутрипеченочного кровотока в этой же группе был получен наиболее высокий перфузионный индекс –  $35,6 \pm 1,5\%$  ( $p < 0,001$ ).

Следует выделить парадоксальные изменения портальной фракции перфузии печени при ФП. В отличие от ЦП и ВПГ, характерной особенностью пресинуоидального блока явилось не снижение, а увеличение портального кровотока относительно нормальных значений до  $169,4 \pm 5,0$  мл/100 мл/мин ( $p < 0,01$ ). То есть в этих случаях определен гиперкинетический тип портального кровообращения. В формировании гиперкинетической ПГ, помимо артериовенозных фистул, имеет значение развитие портопеченочных венозных коллатералей. Это позволяет предположить, что на фоне ФП с пресинуоидальным блоком полученные высокие показатели портальной перфузии являются следствием функциональной активности портопеченочных венозных коллатералей. Выраженный склеротический процесс с узловой трансформацией при ЦП за счет некроза гепатоцитов приводит к снижению портальной перфузии печени, что усугубляет течение патологического процесса, формируя порочный круг. В этой ситуации функциональный статус гепатоцитов имеет решающее значение в плане прогноза заболевания. В свою очередь, при ФП функция гепатоцитов не нарушена, а фактором агрессии служат именно прогрессирующая ПГ и ее осложнения (пищеводно-желудочные кровотечения). Это доказывает тот факт, что выполнение шунтирующих операций при ФП не приводит к ухудшению функции гепатоцитов, но позволяет радикально решить проблему ПГ. Это связано с тем, что исходный гиперкинетический тип портального кровотока на фоне декомпрессии портальной системы при портосистемном шунтировании обеспечивает сохранение гепатопетального кровотока.

Другой особенностью перфузии печени при ФП является то, что на фоне повышенных значений портальной фракции не отмечено достоверного увеличения артериального кровотока

В качестве иллюстративных примеров на рис. 3–6 приведены показатели перфузии печени в норме, при ЦП, ФП и ВПГ. Также следует отметить, что КТ-ангиография позволяет определить особенности ангиоархитектоники воротной системы, что имеет значение при планировании различных вариантов хирургического лечения, включая портосистемное шунтирование, разобщающие





**Рис. 5.** Показатели КТ-перфузии у пациента с фиброзом печени.

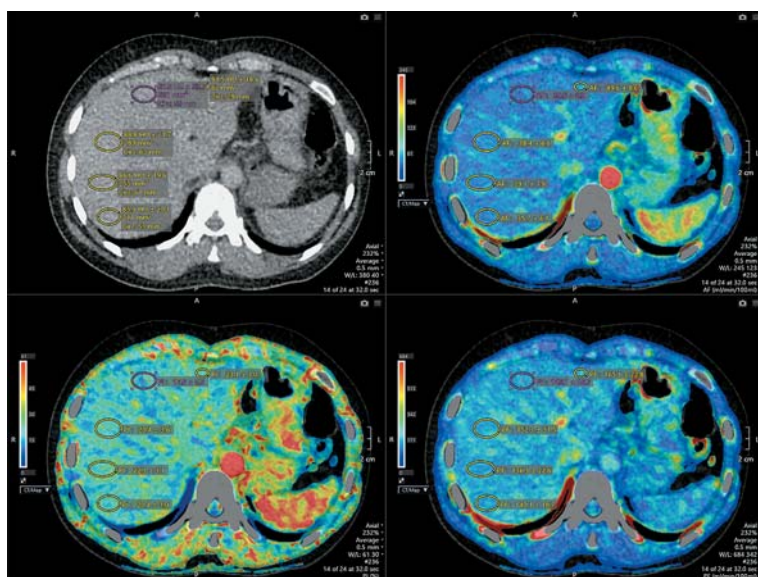
Показатели ПКТ:

|                   |                |
|-------------------|----------------|
| AF, мл/100 мл/мин | $36 \pm 7,0$   |
| PF, мл/100 мл/мин | $166 \pm 20,0$ |
| PI, %             | $19,2 \pm 1,8$ |

**Fig. 5.** CT perfusion parameters in-patient with liver fibrosis.

PCT indicators:

|                   |                |
|-------------------|----------------|
| AF, ml/100 ml/min | $36 \pm 7.0$   |
| PF, ml/100 ml/min | $166 \pm 20.0$ |
| PI, %             | $19.2 \pm 1.8$ |



**Рис. 6.** Показатели КТ-перфузии печени при у пациента с ВПГ.

Показатели ПКТ:

|                   |                  |
|-------------------|------------------|
| AF, мл/100 мл/мин | $47,5 \pm 7,8$   |
| PF, мл/100 мл/мин | $105,3 \pm 22,0$ |
| PI, %             | $31,5 \pm 6,0$   |

**Fig. 6.** CT perfusion parameters of the liver in-patient with extrahepatic PH.

PCT indicators:

|                   |                  |
|-------------------|------------------|
| AF, ml/100 ml/min | $47.5 \pm 7.8$   |
| PF, ml/100 ml/min | $105.3 \pm 22.0$ |
| PI, %             | $31.5 \pm 6.0$   |

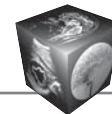
вмешательства, а также трансплантацию печени. Такая визуализация сосудистого русла позволяет четко определить особенности портальной и артериальной архитектуры.

## Обсуждение

Данные нашего исследования подтверждают значительные изменения гемодинамики печени при различных уровнях блокировки портального кровообращения. Наблюдается компенсаторное увеличение артериального кровотока при снижении портального, что выражается в повышении PI и AF. Эти показатели могут служить маркерами степени нарушения портального кровообращения и уровня адаптации сосудистой системы печени.

Полученные результаты согласуются с выводами исследований D. Vonekamp и соавт. (2012), где установлено, что AF увеличивается пропорционально прогрессированию фиброза и цирроза печени [10]. Это подтверждает, что компенсаторное увеличение артериального кровоснабжения связано с капилляризацией синусоидов и отложением коллагена в пространстве Диссе. Так же, как и в нашем исследовании, они выявили, что AF может различать стадии заболевания с высокой чувствительностью и специфичностью.

Исследование S. Guan и соавт. (2005), проведенное на модели крыс, показало аналогичную динамику изменений параметров перфузии на разных стадиях: снижение кровотока и объема



крови при прогрессировании ЦП. Это указывает на универсальность наблюдаемых паттернов и подчеркивает клиническую значимость ранней диагностики, возможной благодаря ПКТ [17].

ПКТ печени демонстрирует высокую эффективность в клинической практике. К примеру: в оценке стадии заболевания, возможностью раннего выявления изменений кровообращения, характерных для фиброза и цирроза печени, что важно для своевременного начала терапии. В отношении мониторинга лечения как неинвазивный контроль динамики состояния печени, позволяющий проводить динамическое наблюдение за эффективностью терапии и корректировать тактику лечения при необходимости. Также ПКТ является информативным методом для планирования оптимальной тактики хирургического лечения, включая такие методы, как ПСШ или трансплантация печени.

Несмотря на высокую диагностическую ценность ПКТ, существуют определенные недостатки метода. Результаты могут зависеть от технических параметров оборудования и параметров сканирования. Как отмечено Е. Talakіś и соавт., ограничения используемой модели оборудования могут повлиять на точность определения времени среднего транзита и другие показатели ПКТ, что может сужать спектр клинического применения метода. Необходимо также стандартизировать протоколы проведения ПКТ, включая калибровку оборудования и унификацию параметров анализа. Интерпретация показателей ПКТ может затрудняться в условиях воспалительных процессов, что подтверждается данными исследований, где АФ отражала как фиброзные изменения в печени, так и острую воспалительную реакцию. Как отмечено в работе Е. Talakіś и соавт (2017), специфические параметры, такие как PI, могут быть менее информативны в отдельных случаях при значительных адаптационных изменениях кровотока [13].

Таким образом, данное исследование подтверждает, что использование объемной ПКТ позволяет эффективно выявлять компенсаторные механизмы и адаптационные изменения кровотока при различных формах ПГ, обеспечивая углубленное понимание изменений внутрипеченочной гемодинамики.

Применение объемной ПКТ открывает значительные перспективы для улучшения диагностики и терапии пациентов с ПГ и диффузными заболеваниями печени. Метод обладает высоким потенциалом для интеграции в клиническую практику, особенно в условиях ограниченной доступности инвазивных процедур. Тем не менее дальнейшие исследования должны быть направлены на стан-

дартизацию протоколов и устранение существующих технических ограничений.

## Заключение

Выявлена достоверная корреляция между этиологическим фактором развития ПГ и особенностями изменения печеночной перфузии относительно нормативных значений.

Наиболее выраженные отклонения перфузии печени верифицированы при подпеченочном блоке (ВПГ). Они характеризуются сохранением минимального уровня портальной фракции ( $107,0 \pm 5,5$  мл/100 мл/мин;  $p < 0,001$ ) при частичном или полном отсутствии воротного кровотока, что обуславливает максимальную компенсаторную стимуляцию резервных возможностей артериального обеспечения ( $49,5 \pm 1,7$  мл/100 мл/мин;  $p < 0,001$ ) с существенным ростом печеночного индекса ( $35,6 \pm 1,5\%$ ;  $p < 0,001$ ).

При ЦП с постсинусоидальным блоком отмечено достоверное снижение портальной фракции до  $146,3 \pm 3,1$  мл/100 мл/мин ( $p < 0,05$ ), что вызывает компенсаторное увеличение артериального кровотока до  $41,4 \pm 0,7$  мл/100 мл/мин и соответственно более высокий рост печеночного индекса ( $23,8 \pm 0,4\%$ ;  $p < 0,001$ ).

Парадоксальные изменения показателей перфузии с формированием гиперкинетического типа кровообращения и увеличением портального кровотока относительно нормативных значений до  $169,4 \pm 5,0$  мл/100 мл/мин ( $p < 0,01$ ) получены при ФП. Это обусловило незначительное изменение артериального кровотока ( $35,1 \pm 1,8$  мл/100 мл/мин против  $34,4 \pm 0,9$  мл/100 мл/мин;  $p > 0,05$ ) с минимально выраженным ростом печеночного индекса (с  $18,2 \pm 0,3\%$  до  $21,1 \pm 0,7\%$ ;  $p < 0,001$ ).

## Участие авторов

Джураева Н.М. – концепция и дизайн исследования, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Вахидова Н.Т. – статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, подготовка и редактирование текста.

Амирхамзаев А.Т. – проведение исследования, сбор и обработка данных.

Абдухалимова Х.В. – участие в научном дизайне, ответственность за целостность всех частей статьи.

Султанов А.Т. – проведение исследования, сбор и обработка данных.

Хурсанова Д.Х. – обзор публикаций по теме статьи, статистическая обработка данных.

Миртаджиева З.Д. – проведение исследования, сбор и обработка данных.

Магзумова С.Х. – анализ и интерпретация полученных данных, участие в научном дизайне.

**Authors' participation**

Djuraeva N.M. – concept and design of the study, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Vakhidova N.T. – statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, text preparation and editing.

Amirkhamzaev A.T. – conducting research, collection and analysis of data.

Abdukhalimova Kh.V. – participation in scientific design, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Sultanov A.T. – conducting research, collection and analysis of data.

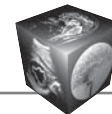
Khursanova D.Kh. – review of publications, statistical analysis.

Mirtadzhieva Z.D. – conducting research, collection and analysis of data.

Magzumova S.Kh. – analysis and interpretation of the obtained data, participation in scientific design.

**Список литературы [References]**

1. Li Y., Pan Q., Zhao H. Investigation of the values of CT perfusion imaging and ultrasound elastography in the diagnosis of liver fibrosis. *Exp. Ther. Med.* 2018; 16 (2): 896–900. <https://doi.org/10.3892/etm.2018.6269>
2. Сташук Г.А. Прогностическое значение перфузионной компьютерной томографии в диагностике фиброза и цирроза печени. Пилотное исследование. *Альманах клинической медицины.* 2020; 48 (6): 387–394. <http://doi.org/10.18786/2072-0505-2020-48-057>  
Stashuk G.A. Prognostic value of perfusion computed tomography in the diagnosis of liver fibrosis and cirrhosis. Pilot study. *Almanac of Clinical Medicine.* 2020; 48 (6): 387–394. <http://doi.org/10.18786/2072-0505-2020-48-057> (In Russian)
3. Spira D. Volume perfusion-CT of the liver: Insights and applications. *Eur. J. Radiol.* 2012; 81 (7): 1471–1478. <http://doi.org/10.1016/j.ejrad.2011.04.010>
4. Wang X., Xue H.D., Jin Z.Y. et al. Quantitative hepatic CT perfusion measurement: Comparison of Couinaud's hepatic segments with dual-source 128-slice CT. *Eur. J. Radiol.* 2013; 82 (2): 220–226. <http://doi.org/10.1016/j.ejrad.2012.09.015>
5. Van Beers B.E., Leconte I., Materne R. et al. Hepatic perfusion parameters in chronic liver disease: Dynamic CT measurements correlated with disease severity. *Am. J. Roentgenol.* 2001; 176 (3): 667–673. <http://doi.org/10.2214/ajr.176.3.1760667>
6. Ronot M., Laporq B., Van Beers B.E., Vilgrain V. CT and MR perfusion techniques to assess diffuse liver disease. *Abdominal. Radiol.* 2020; 45 (11): 3496–3506. <http://doi.org/10.1007/s00261-019-02338-z>
7. Motosugi U., Ichikawa T., Sou H. et al. Multi-organ perfusion CT in the abdomen using a 320-detector row CT scanner: Preliminary results of perfusion changes in the liver, spleen, and pancreas of cirrhotic patients. *Eur. J. Radiol.* 2012; 81 (10): 2533–2537. <http://doi.org/10.1016/j.ejrad.2011.11.054>
8. Kanda T., Yoshikawa T., Ohno Y. et al. Perfusion measurement of the whole upper abdomen of patients with and without liver diseases: Initial experience with 320-detector row CT. *Eur. J. Radiol.* 2012; 81 (10): 2470–2475. <http://doi.org/10.1016/j.ejrad.2011.10.009>
9. Wang N., Sun Z. Clinical value of AEF in the post-processing technique of liver perfusion-like phase III enhanced CT scan in evaluating the degree of liver function impairment in patients with Hepatitis-B cirrhosis. *Pakistan J. Med. Sci.* 2022; 38 (7): 1899–1904. <http://doi.org/10.12669/pjms.38.7.5362>
10. Bonekamp D., Bonekamp S., Geiger B., Kamel I. An elevated arterial enhancement fraction is associated with clinical and imaging indices of liver fibrosis and cirrhosis. *J. Comput. Assis. Tomogr.* 2012; 36 (6): 681–689. <http://doi.org/10.1097/RCT.0b013e3182702ee3>
11. Wang L., Zhang Y., Wu Y.F. et al. Computed tomography perfusion in liver and spleen for hepatitis B virus-related portal hypertension: A correlation study with hepatic venous pressure gradient. *Wld J. Gastroenterol.* 2022; 28 (42): 6068–6077. <http://doi.org/10.3748/wjg.v28.i42.6068>
12. Dong J., Zhang Y., Wu Y.F. et al. Computed tomography perfusion in differentiating portal hypertension: A correlation study with hepatic venous pressure gradient. *Wld J. Gastrointest. Surg.* 2023; 15 (4): 664–673. <http://doi.org/10.4240/wjgs.v15.i4.664>
13. Talakić E., Schaffellner S., Kniepeiss D. et al. CT perfusion imaging of the liver and the spleen in patients with cirrhosis: Is there a correlation between perfusion and portal venous hypertension? *Eur. Radiol.* 2017; 27 (10): 4173–4180. <http://doi.org/10.1007/s00330-017-4788-x>
14. Preibsch H., Spira D., Thaiss W.M. et al. Impact of transjugular intrahepatic portosystemic shunt implantation on liver perfusion measured by volume perfusion CT. *Acta Radiol.* 2018; 58 (10): 1167–1173. <https://doi.org/10.1177/0284185116685922>
15. Джураева Н.М., Ибадов Р.А., Ибрагимов С.Х., Абдухалимова Х.В., Акилова Г.Х. Перфузионная компьютерная томография – новые горизонты в диагностике заболеваний поджелудочной железы. *Вестник современной клинической медицины.* 2024; 17 (4): 108–116. [http://doi.org/10.20969/VSKM.2024.17\(4\).108-116](http://doi.org/10.20969/VSKM.2024.17(4).108-116)  
Djuraeva N.M., Ibadov R.A., Ibragimov S.Kh. et al. Perfusion Computer Tomography – New Horizons in the Diagnostics of Pancreatic Diseases. *Bulletin of Modern Clinical Medicine.* 2024; 17 (4): 108–116. [http://doi.org/10.20969/VSKM.2024.17\(4\).108-116](http://doi.org/10.20969/VSKM.2024.17(4).108-116) (In Russian)
16. Magzumova S., Isroilov U., Djuraeva N., Khaybullina Z. et al. Computed tomography angiography of liver alveococcosis: a case report. *J. Med. Case Rep.* 2024; 18 (1): 100. <http://doi.org/10.1186/s13256-024-04399-1>
17. Guan S., Zhao W.D., Zhou K.R. et al. CT perfusion at early stage of hepatic diffuse disease. *Wld J. Gastroenterol.* 2005; 11 (22): 3465–3467. <http://doi.org/10.3748/wjg.v11.i22.3465>



**Для корреспонденции\*:** Вахидова Наргиза Тулкиновна – sidikovan@yandex.ru

**Джуроева Нигора Мухсумовна** – доктор мед. наук, заведующая отделением МР и КТ ГУ “Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр хирургии имени академика В. Вахидова”, Ташкент. <https://orcid.org/0000-0002-2232-8264>

**Вахидова Наргиза Тулкиновна** – канд. мед. наук, врач отделения МР и КТ ГУ “Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр хирургии имени академика В. Вахидова”, Ташкент. <https://orcid.org/0009-0008-1276-8531>

**Амирхамзаев Айбек Турабаевич** – канд. мед. наук, врач отделения МР и КТ ГУ “Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр хирургии имени академика В. Вахидова”, Ташкент.

**Абдухалимова Ханум Валентиновна** – канд. мед. наук, врач отделения МР и КТ ГУ “Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр хирургии имени академика В. Вахидова”, Ташкент. <https://orcid.org/0000-0002-3294-4183>

**Султанов Алишер Тахирович** – врач отделения МР и КТ ГУ “Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр хирургии имени академика В. Вахидова”, Ташкент.

**Хурсанова Дильнур Хошимовна** – докторант 2-го года обучения ГУ “Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр хирургии имени академика В. Вахидова”, Ташкент.

**Миртаджиева Зилола Давранбековна** – докторант 2-го года обучения ГУ “Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр хирургии имени академика В. Вахидова”, Ташкент.

**Магзумова Саодат Хабибуллаевна** – врач отделения МР и КТ ГУ “Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр хирургии имени академика В. Вахидова”, Ташкент. <https://orcid.org/0000-0002-1137-4783>

**Contact\*:** Nargiza T. Vakhidova – sidikovan@yandex.ru

**Nigora M. Djuraeva** – Doct. of Sci. (Med.), Head of the MR and CT Department, Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center for Surgery named after academician V. Vakhidov, Tashkent. <https://orcid.org/0000-0002-2232-8264>

**Nargiza T. Vakhidova** – Cand. of Sci. (Med.), Radiologist of the MR and CT department, Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center for Surgery named after academician V. Vakhidov, Tashkent. <https://orcid.org/0009-0008-1276-8531>

**Aibek T. Amirkhamzaev** – Cand. of Sci. (Med.), Doctor of the MR and CT department, Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center for Surgery named after academician V. Vakhidov, Tashkent.

**Khanum V. Abdukhalimova** – Cand. of Sci. (Med.), Radiologist of the MR and CT department, Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center for Surgery named after academician V. Vakhidov, Tashkent. <https://orcid.org/0000-0002-3294-4183>

**Alisher T. Sultanov** – Radiologist of the MR and CT department, Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center for Surgery named after academician V. Vakhidov, Tashkent.

**Dilnura Kh. Khursanova** – PhD student 2nd year of study, Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center for Surgery named after academician V. Vakhidov, Tashkent.

**Zilola D. Mirtadzhieva** – PhD student 2nd year of study, Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center for Surgery named after academician V. Vakhidov, Tashkent.

**Saodat Kh. Magzumova** – Doctor of the MR and CT department, Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center for Surgery named after academician V. Vakhidov, Tashkent. <https://orcid.org/0000-0002-1137-4783>