

## УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЧЕЧНОГО ТРАНСПЛАНТАТА В ИЗУЧЕНИИ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЕГО ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ

Мухаметдинова А.М.<sup>1</sup>, Тухбатуллин М.Г.<sup>1,2</sup>, Ситкина К.В.<sup>1</sup>

1 – ГАУЗ «Республиканская клиническая больница Министерства здравоохранения Республики Татарстан». г. Казань, Россия.

2 – Казанская государственная медицинская академия – филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» МЗ РФ. г. Казань, Россия.

**Цель исследования.** Изучение факторов, влияющих на показатели жесткости паренхимы почечного трансплантата.

**Материалы и методы.** В исследование были включены 50 пациентов с почечными трансплантатами (ПТ) отделения пересадки почки ГАУЗ «РКБ МЗ РТ» в возрасте от 18 до 55 лет, спустя 5-7 дней после операции. Из них 23 пациента мужского пола, 27 пациентов женского пола. Изучали следующие факторы, которые потенциально могут повлиять на жесткость паренхимы ПТ: показатели индекса резистентности (ИР) в дуговых и междольковых артериях ПТ, креатинин сыворотки крови, возраст и пол доноров. Статистический анализ проводился с использованием программы StatTech v. 4.7.2 (разработчик – ООО «Статтех», Россия).

**Результаты.** Исследование связи среднего значения индекса резистентности в дуговой и междольковой артериях с жесткостью паренхимы почечного трансплантата показало наличие прямой, но слабой корреляции. При оценке связи среднего значения жесткости паренхимы ПТ и показателя креатинина сыворотки крови была установлена умеренной тесноты прямая связь согласно шкале Чеддока. При изучении взаимосвязи между жесткостью паренхимы и возрастом донора также была установлена слабая прямая связь. При увеличении возраста донора на один год среднее значение жесткости паренхимы почечного трансплантата возрастало на 0,063 кПа. При этом полученная модель объясняет 8,3% наблюдаемой дисперсии данного показателя. Сравнение средних значений жесткости паренхимы почечного трансплантата в зависимости от пола донора не выявило статистически значимых различий ( $p = 0,498$ ).

**Обсуждение.** Ультразвуковая эластография сдвиговой волной (УЭСВ) является неинвазивным и наиболее безопасным методом исследования почечного трансплантата. При исследовании ИР в дуговых и междольковых артериях в корреляции с жесткостью паренхимы ПТ выявили слабой тесноты прямую связь, где при увеличении жесткости паренхимы ПТ увеличивается ИР. В нашем исследовании при оценке связи среднего значения жесткости паренхимы ПТ и креатинина сыворотки крови была установлена умеренной тесноты прямая связь, при увеличении креатинина на 1 мкмоль/л следует ожидать увеличение среднего значения жесткости паренхимы ПТ на 0,006 кПа. При изучении связи среднего значения жесткости паренхимы ПТ и возраста донора была установлена слабой тесноты прямая связь. Таким образом, при увеличении возраста донора на 1 полных лет следует ожидать увеличение среднего значения жесткости паренхимы ПТ на 0,063 кПа.

**Заключение.** Жесткость паренхимы почечного трансплантата демонстрирует значимую связь с индексом резистентности в дуговых и междольковых артериях и уровнем креатинина сыворотки крови. Повышение жесткости паренхимы сопровождается увеличением этих показателей, что отражает нарушения функции трансплантата. Использование ультразвуковой эластографии сдвиговой волной позволяет объективно оценить состояние почечного трансплантата, выявляя признаки дисфункции и возможного отторжения. В сочетании с лабораторными показателями крови УЭСВ служит дополнительным инструментом для прогнозирования функционального состояния трансплантированной почки.

Ключевые слова: почечный трансплантат, ультразвуковая эластография сдвиговой волной, индекс резистентности.

Контактный автор: Мухаметдинова А.М., e-mail: minnullovna@mail.ru

## ULTRASOUND EXAMINATION OF RENAL GRAFT IN THE STUDY OF FACTORS AFFECTING ITS FUNCTIONAL STATE

Mukhametdinova L.M.<sup>1</sup>, Tukhbatullin M.G.<sup>1,2</sup>, Sitkina K.V.<sup>1</sup>

1 - Republican Clinical Hospital of the Ministry of Health of the Republic of Tatarstan. Kazan, Russia.

2 - Kazan State Medical Academy – Branch Campus of the Russian Medical Academy of Continuous Professional Education. Kazan, Russia.

**Purpose.** To study the factors influencing the renal graft parenchyma stiffness indices.  
**Material and methods.** The study included 50 patients with renal graft (RG) of the Kidney Transplant Department of the Republican Clinical Hospital of the Ministry of Health of the Republic of Tatarstan aged 18 to 55 years, 5-7 days after surgery. Of these, 23 patients were male and 27 were female. The following factors that could potentially affect the RG parenchyma stiffness were studied: the resistance index (RI) indices in the arcuate and interlobular arteries of the RG, serum creatinine, age and gender of donors. Statistical analysis was performed using the StatTech v. 4.7.2 program (developer – StatTech LLC, Russia).

**Results.** A study of the relationship between the average resistance index in the arcuate and interlobular arteries and the parenchymal stiffness of the renal graft showed a direct but weak correlation. When assessing the relationship between the average RG parenchyma stiffness value and the serum creatinine index, a moderately strong direct relationship was found according to the Chaddock scale. When studying the relationship between parenchymal stiffness and donor age, a weak direct relationship was also found. With an increase in donor age by one year, the average value of renal graft parenchymal stiffness increased by 0.063 kPa. At the same time, the resulting model explains 8.3% of the observed variance of this indicator. Comparison of the average values of renal graft parenchymal stiffness depending on the donor's gender did not reveal statistically significant differences ( $p = 0.498$ ).

**Discussion.** Shear wave elastography (SWE) is a non-invasive and safest method for examining a renal graft. When examining RI in the arcuate and interlobular arteries in correlation with the stiffness of the RG parenchyma, a weak direct relationship was found, where with an increase in the stiffness of the RG parenchyma, RI increases. In our study, when assessing the relationship between the average value of the parenchyma stiffness of the RG and serum creatinine, a moderately tight direct relationship was established, and with an increase in creatinine by 1  $\mu\text{mol} / \text{l}$ , an increase in the average value of the parenchyma stiffness of the RG by 0.006 kPa should be expected. When studying the relationship between the average value of the parenchyma stiffness of the RG and the age of the donor, a weakly tight direct relationship was established. Thus, with an increase in the donor's age by 1 full year, an increase in the average value of the RG parenchyma stiffness by 0.063 kPa should be expected.

**Conclusion.** The parenchyma stiffness of the renal graft demonstrates a significant relationship with the resistance index in the arcuate and interlobular arteries and the level of serum creatinine. An increase in parenchyma stiffness is accompanied by an increase in these indicators, which reflects possible impairment of renal graft function. The use of shear wave ultrasound elastography allows an objective assessment of the condition of the renal graft, identifying signs of dysfunction and possible rejection. In combination with laboratory blood parameters, this method serves as an additional tool for predicting the functional state of the renal graft.

Keywords: renal graft, shear wave ultrasound elastography, resistance index.

Corresponding author: Mukhametdinova L.M., e-mail: minnullovna@mail.ru

For citation: Mukhametdinova L.M., Tukhbatullin M.G., Sitkina K.V. Ultrasound examination of renal graft in the study of factors affecting its functional state. REJR 2025; 15(3):211-220. DOI: 10.21569/2222-7415-2025-15-3-211-220.

Received: 03.04.25

Accepted: 30.10.25

**Х**роническая болезнь почек (ХБП) – это прогрессирующее дегенеративное состояние, которое характеризуется ухудшением функции почек, и является глобальной проблемой здравоохранения [1]. В мире ХБП поражены 10% населения, а именно, 850 миллионов человек [1]. По прогностическим данным специалистов потребность в заместительной почечной терапии удваивается каждые 10 лет [2,3].

Трансплантация почки считается эффективным методом лечения терминальной стадии почечной недостаточности и оптимальной альтернативой заместительной почечной терапии [4]. Оптимизация хирургических методов лечения и использование инновационной иммуносупрессивной терапии значительно улучшают сроки выживаемости почечных трансплантатов (ПТ) [5]. Несмотря на вышеописанные достижения, до 11% пациентов с ПТ страдает от его дисфункции, а 35% ПТ и вовсе теряют свою функцию в течение 10 лет после трансплантации [2,5].

Хроническое повреждение ПТ характеризуется интерстициальным фиброзом и атрофией канальцев, которые являются причиной дисфункции ПТ [6]. Ранняя диагностика дисфункции ПТ имеет решающее значение в выборе подходящего лечения, и поможет избежать дальнейшего повреждения трансплантата [5,7,8]. В настоящее время биопсия является стандартом выявления и подтверждения дисфункции ПТ. Однако ее инвазивный характер и потенциальный риск развития осложнений существенно ограничивают возможности широкого применения данного метода в клинической практике [5,9].

Ведущим диагностическим методом исследования состоятельного почечного трансплантата является ультразвуковое исследование. Ультразвуковая эластография сдвиговой волной (УЭСВ) является передовым, эффективным и неинвазивным методом исследования в оценке жесткости тканей, а также для оценки развития прогрессирующего фиброза почечного трансплантата [6,8]. УЭСВ позволяет количественно оценить жесткость паренхимы ПТ и контролировать прогрессирование фиброза после трансплантации [6]. Данный метод исследования УЗИ

является оптимальным инструментом для оценки степени фиброза печени, патологии молочной железы, рака предстательной железы, яичников, щитовидной железы и жесткости паренхимы ПТ на ранних стадиях [10,11,12].

#### Цель исследования.

Изучение факторов, влияющих на показатели жесткости паренхимы почечного трансплантата.

#### Материалы и методы.

В исследование были включены 50 пациентов с ПТ отделения пересадки почки ГАУЗ «РКБ МЗ РТ» в возрасте от 18 до 55 лет, спустя 5–7 дней после операции. Из них 23 пациента мужского пола, 27 пациентов женского пола.

Изучали следующие факторы, которые потенциально могут повлиять на жесткость паренхимы ПТ: показатели индекса резистентности (ИР) в дуговых и междольковых артериях, креатинин сыворотки крови, возраст и пол доноров.

Всем пациентам с почечными трансплантатами проводилось ультразвуковое исследование на аппарате SuperSonic Aixplorer с применением конвексного датчика частотой 1–6 МГц. УЗИ выполнялось в серошкальном режиме с определением размеров почечного трансплантата, толщины паренхимы ПТ; в режиме цветового доплеровского картирования (ЦДК) с измерением ИР в дуговых и междольковых артериях в верхней, средней и нижней трети ПТ. Жесткость в верхней, средней и нижней трети паренхимы ПТ определяли методом УЭСВ. По биохимическим показателям оценивали креатинин сыворотки крови на момент исследования. Возраст и пол донора фиксировали в табличной форме на каждого реципиента соответственно.

Статистический анализ проводился с использованием программы StatTech v. 4.7.2 (разработчик – ООО «Статтех», Россия). В случае отсутствия нормального распределения количественные данные описывались с помощью медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей (Q1 – Q3). Количественные показатели, выборочное распределение которых соответствовало нормальному, описывались с помощью средних арифметических величин (M) и стандартных отклонений (SD).

Для оценки силы связи в теории корреляции применялась шкала английского статистика Чеддока.

Направление и теснота корреляционной связи между двумя количественными показателями оценивались с помощью коэффициента корреляции Пирсона (при нормальном распределении сопоставляемых показателей).

Сравнение двух групп по количественному показателю, распределение которого в каждой из групп соответствовало нормальному, при условии равенства дисперсий выполнялось с помощью t-критерия Стьюдента.

В качестве меры репрезентативности для средних значений указывались границы 95% доверительного интервала (95% ДИ).

Различия считались статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

**Результаты.**

По данным УЗИ размеры ПТ составили ( $M \pm SD$ ): длина ПТ составляла  $118,7 \pm 8,4$  мм, толщина ПТ  $52,2 \pm 4,9$  мм, толщина паренхимы ПТ составила от 15 мм до 23 мм ( $Me = 19$  мм).

Индекс резистентности в дуговых и междольковых артериях составил: в дуговых артериях от 0,54 до 0,83 ( $Me=0,66$ ), в междольковых артериях - от 0,55 до 0,85

( $Me=0,64$ ).

Среднее значение жесткости ( $M \pm SD$ ) в верхней, средней и нижней трети паренхимы ПТ было равно  $22,8 \pm 2,4$  кПа.

При оценке связи среднего значения ИР в дуговой и междольковой артериях и среднего значения жесткости паренхимы ПТ была установлена слабой тесноты прямая связь (рис. 1, 2).

Был проведен корреляционный анализ взаимосвязи креатинина сыворотки крови и среднего значения жесткости паренхимы ПТ.

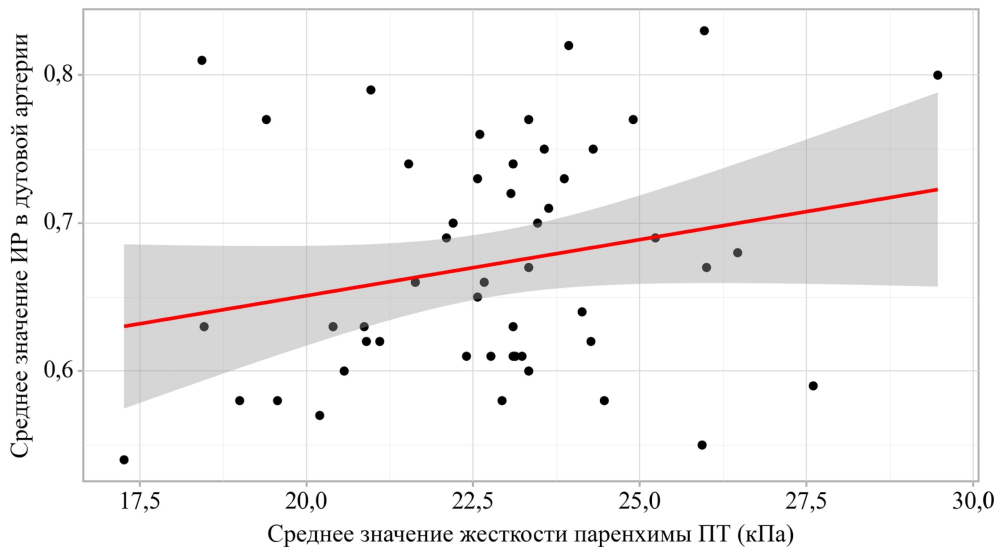
При оценке связи креатинина сыворотки крови и среднего значения жесткости паренхимы ПТ была установлена умеренной тесноты прямая связь согласно шкале Чеддока (табл. №1).

Наблюдаемая зависимость среднего значения жесткости паренхимы ПТ от креатинина описывается уравнением парной линейной регрессии:

$$Y = 0,006 \times X + 20,978,$$

где Y – среднее значение жесткости паренхимы ПТ, X- креатинин сыворотки крови.

Таким образом, при увеличении креатинина сыворотки крови на 1 мкмоль/л среднее значение жесткости паренхимы ПТ увеличилось на 0,006 кПа. Полученная модель объясняет 31,2% наблюдаемой диспер-



**Рис. 1 (Fig. 1)**

**Рис. 1.** График регрессионной функции, характеризующий зависимость среднего значения ИР в дуговой артерии от среднего значения жесткости паренхимы почечного трансплантата.

**Fig. 1.** Graph of the regression function characterizing the dependence of the average value of IR in the arcuate artery on the average value of the parenchyma stiffness of the renal graft.

сии (степень разброса данных относительно их среднего значения; высокая дисперсия указывает на большой разброс данных, низкая - на их близость друг к другу) среднего значения жесткости паренхимы ПТ.

Результаты корреляционного анализа взаимосвязи возраста доноров и среднего значения жесткости паренхимы ПТ представлены в таблице №2. При анализе зависимости среднего значения жесткости паренхимы ПТ и возраста донора была выявлена слабая положительная корреляция.

Наблюдаемая зависимость среднего

значения жесткости паренхимы ПТ от возраста донора описывается уравнением парной линейной регрессии:

$$Y = 0,063 \times X_{\text{Возраст донора}} + 19,61,$$

где Y – среднее значение жесткости паренхимы ПТ, X – возраст донора.

При увеличении возраста донора на 1 полных лет среднее значение жесткости паренхимы ПТ увеличилось на 0,063 кПа. Полученная модель объясняет 8,3% наблюдаемой дисперсии среднего значения жесткости паренхимы ПТ (рис. 3, 4, 5).

В таблице №3 представлен анализ

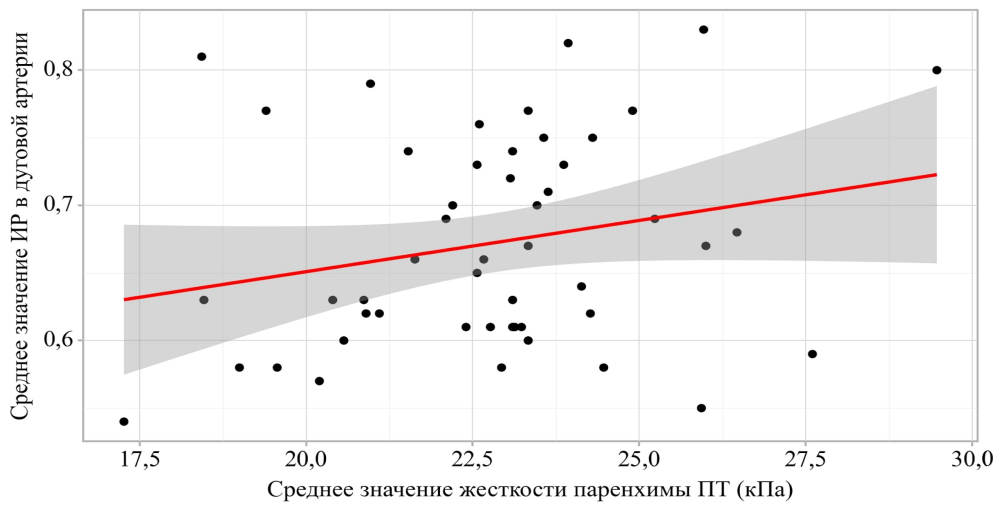


Рис. 2 (Fig. 2)

**Рис. 2.** График регрессионной функции, характеризующий зависимость среднего значения ИР в междольковой артерии от среднего значения жесткости паренхимы почечного трансплантата.

**Fig. 2.** Graph of the regression function characterizing the dependence of the average value of RI in the interlobular artery on the average value of the parenchyma of the renal graft.

**Таблица №1. Результаты корреляционного анализа взаимосвязи креатинина и среднего значения жесткости паренхимы почечного трансплантата.**

Показатель	Характеристика корреляционной связи		
	ρ	Теснота связи по шкале Чеддока	p
Креатинин сыворотки крови/Среднее значение жесткости паренхимы ПТ	0,430*	Умеренная**	0,002***

\* – количественная мера тесноты связи по шкале Чеддока (слабая — от 0,1 до 0,3; умеренная — от 0,3 до 0,5; заметная — от 0,5 до 0,7; высокая — от 0,7 до 0,9; весьма высокая (сильная) — от 0,9 до 0,99);

\*\* - качественная характеристика тесноты связи по шкале Чеддока;

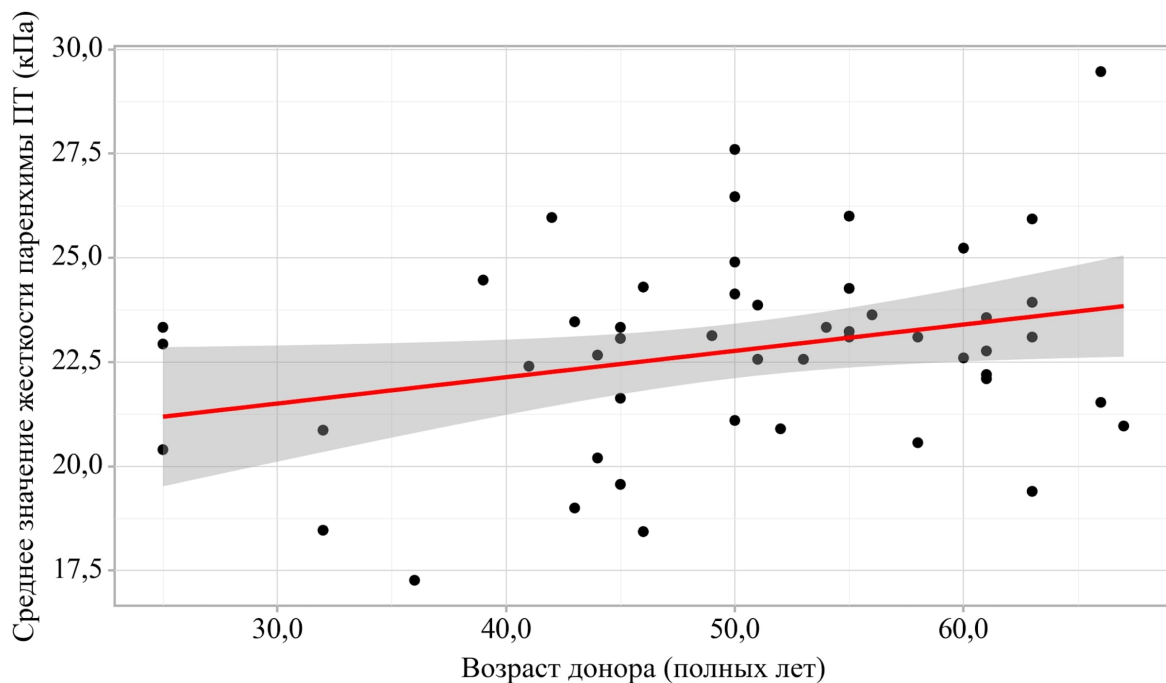
\*\*\*- различия показателей статистически значимы (p < 0,05).

**Таблица №2. Результаты корреляционного анализа взаимосвязи креатинина и среднего значения жесткости паренхимы почечного трансплантата.**

Показатель	Характеристика корреляционной связи		
	$r_{xy}$	Оценка коэффициента корреляции Пирсона	$p$
Возраст донора/Среднее значение жесткости паренхимы ПТ	0,288*	Слабая	0,043**

\* – коэффициент корреляции Пирсона ( $0,01 \leq 0,29$  – слабая,  $0,30 \leq 0,69$  – умеренная,  $0,70 \leq 1,00$  – сильная,  $-0,01 \leq -0,29$  – слабая отрицательная,  $-0,30 \leq -0,69$  – умеренная отрицательная,  $-0,70 \leq -1,00$  – сильная отрицательная);

\*\* – различия показателей статистически значимы ( $p < 0,05$ ).



**Рис. 3 (Fig. 3)**

**Рис. 3.** График регрессионной функции, характеризующий зависимость среднего значения жесткости паренхимы почечного трансплантата от возраста донора.

**Fig. 3.** Graph of the regression function characterizing the dependence of the average value of the renal graft parenchyma rigidity on the donor age.

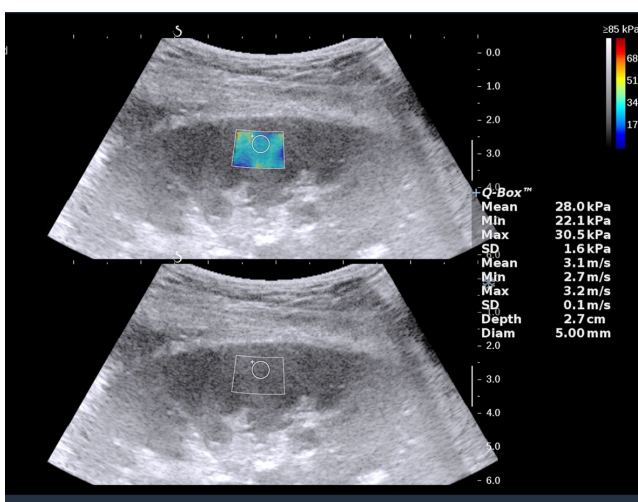


Рис. 4 (Fig. 4)

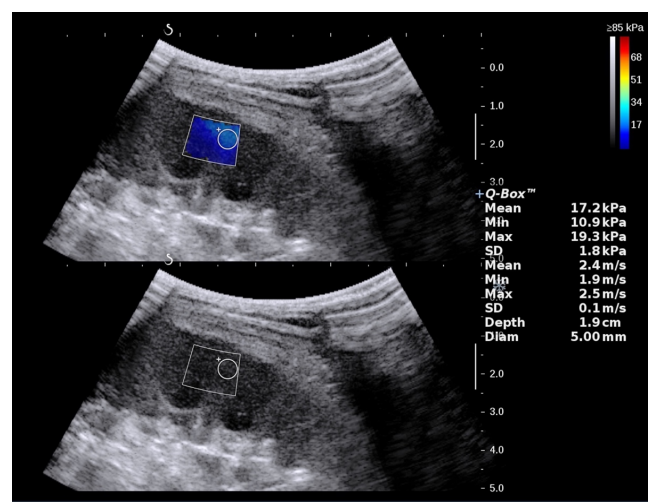


Рис. 5 (Fig. 5)

**Рис. 4. УЗИ почечного трансплантата.**

Пациент Г., 45 лет. Возраст донора почки 61 год. Эхограмма в режиме УЭСВ. Жесткость паренхимы в средней трети почечного трансплантата 28 кПа.

**Fig. 4. Ultrasound, renal transplant.**

Patient G., 45 years old. Kidney donor age is 61 years. Echogram in the SWE mode. Parenchymal stiffness in the middle third of the renal graft is 28 kPa.

**Рис. 5. УЗИ почечного трансплантата.**

Пациентка П., 30 лет. Возраст донора почки 25 лет. Эхограмма в режиме УЭСВ. Жесткость паренхимы в средней трети почечного трансплантата 17,2 кПа.

**Fig. 5. Ultrasound, renal transplant.**

Patient P., 30 years old. Kidney donor age is 25 years. Echogram in the SWE mode. Parenchyma stiffness in the middle third of the renal graft is 17.2 kPa.

**Таблица №3. Анализ среднего значения жесткости паренхимы почечного трансплантата в зависимости от пола доноров.**

Показатель	Категории	Среднее значение жесткости паренхимы ПТ (кПа)			t	df	p
		M ± SD	95% ДИ	n			
Пол донора	мужской	22,6 ± 2,3	21,7 – 23,5	27	-0,683*	48**	0,498***
	женский	23,0 ± 2,5	22,0 – 24,1	23			

\* – критерий Стьюдента;

\*\* – количество наблюдений в выборке, которые могут быть изменены независимо друг от друга;

\*\*\* – различия показателей статистически не значимы (p < 0,05).

среднего значения жесткости паренхимы ПТ в зависимости от пола донора. При сравнении среднего значения жесткости паренхимы ПТ в зависимости от пола доноров, не удалось выявить статистически значимых различий (рис. 6).

**Обсуждение.**

УЭСВ является неинвазивным и наиболее безопасным методом исследования почечного трансплантата.

В нашем исследовании выявлена корреляционная связь жесткости паренхимы ПТ с индексом резистентности в дуговых и междольковых артериях, креатинином сыворотки крови, возрастом доноров.

При исследовании ИР в дуговых и междольковых артериях в корреляции с жесткостью паренхимы ПТ выявили слабой тесноты прямую связь, где при увеличении жесткости паренхимы ПТ увеличивается ИР. Повышение ИР в интратрениальных артериях отражает изменения в сосудистом русле ПТ и может свидетельствовать о развитии острой почечной недостаточности или отторжении трансплантата. Причинами повышения ИР являются интерстициальный отек, изменение

сосудистого тонуса или эндovasкулит [13].

В исследованиях Ashbina K. и соавт. отмечают, что жесткость паренхимы ПТ имела более высокие значения в случаях с дисфункцией ПТ (Me=28,70 кПа) по сравнению с пациентами со стабильной функцией ПТ (Me=20,99 кПа) [14]. Таким образом, повышение жесткости паренхимы почечного трансплантата, вычисляемого методом УЭСВ, служит дополнительной диагностической информацией для раннего выявления дисфункции почечного трансплантата [15].

По нашим данным при анализе взаимосвязи среднего значения жесткости паренхимы ПТ и креатинина сыворотки крови была установлена умеренной тесноты прямая связь, при увеличении креатинина сыворотки крови на 1 мкмоль/л выявлено увеличение среднего значения жесткости паренхимы ПТ на 0,006 кПа. Так как, в основе дисфункции ПТ лежит снижение клубочковой фильтрации, если почка фильтрует меньше крови за единицу времени, то это приводит к повышению концентрации креатинина в крови.

Изучение связи среднего значения

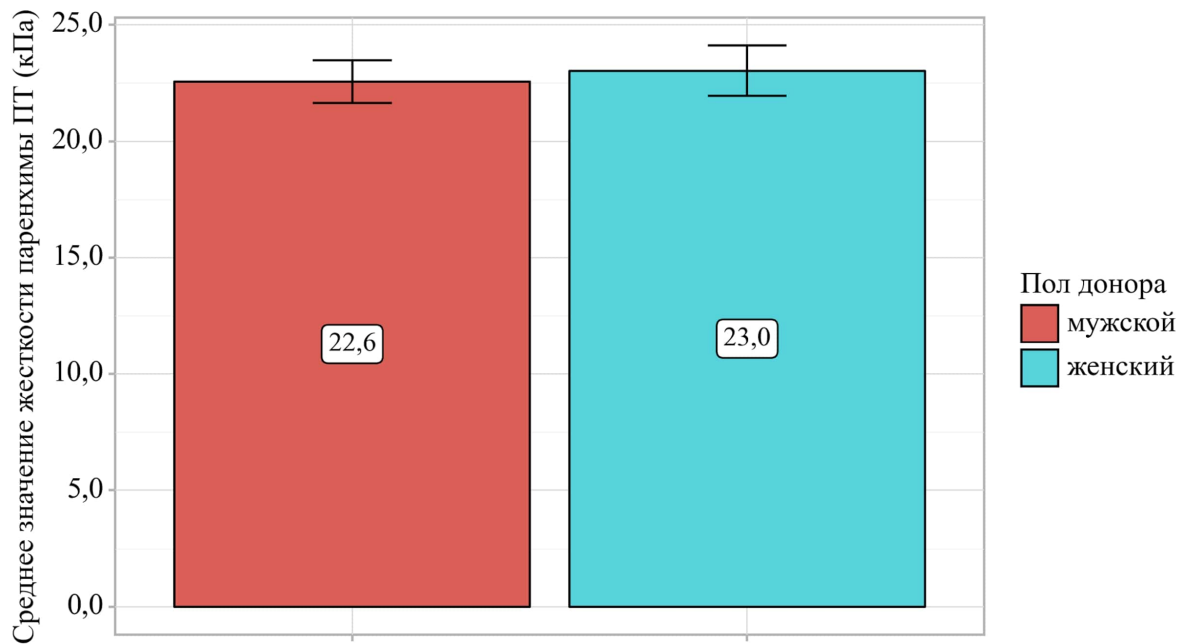


Рис. 6 (Fig. 6)

**Рис. 6. Анализ среднего значения жесткости паренхимы почечного трансплантата в зависимости от пола доноров.**

**Fig. 6. Ultrasound, renal transplant.**

Analysis of the average value of the renal graft parenchyma stiffness depending on the donors' gender.

жесткости паренхимы ПТ и возраста донора выявило слабой тесноты прямую связь. При увеличении возраста донора на 1 полных лет наблюдали увеличение среднего значения жесткости паренхимы ПТ на 0,063 кПа. Однако, Ashbina K. и соавт. не обнаружили корреляционной связи между значениями УЭСВ и возрастом донора [14]. Таким образом, полученные нами данные подтверждают тенденцию повышения жесткости паренхимы ПТ в зависимости от возраста донора.

Сравнение среднего значения жесткости паренхимы ПТ в зависимости от пола донора, не выявило статистически значимых различий ( $p = 0,498$ ).

Ведущими факторами, влияющими на состояние почечного трансплантата, являются: индекс резистентности в дуговых и междольковых артериях, креатинин сыворотки крови, возраст донора.

#### Заключение.

Жесткость паренхимы почечного трансплантата имеет зависимость от индекса

резистентности в дуговых и междольковых артериях и уровня креатинина сыворотки крови. Повышение жесткости паренхимы сопровождается увеличением этих показателей, что отражает нарушения функции трансплантата.

Использование ультразвуковой эластографии сдвиговой волной позволяет объективно оценить состояние почечного трансплантата, выявляя признаки дисфункции и возможного отторжения. В сочетании с лабораторными показателями крови ультразвуковая эластография сдвиговой волной служит дополнительным инструментом для прогнозирования функционального состояния трансплантированной почки.

#### Источник финансирования и конфликт интересов.

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

#### Список литературы:

- Mallamaci, F., Tripepi, G. Risk Factors of Chronic Kidney Disease Progression: Between Old and New Concepts. *Journal Clinical of Medicine*. 2024, 13(3), 678; DOI:10.3390/jcm13030678.
- Ларионова С.Н., Ветшева Н.Н., Белавина Н.И., Балтер Р.Б., Манченко О.В., Боряев Е.А. и др. Особенности ультразвукового исследования нефункционирующего почечного трансплантата у пациента с синдромом непереносимости аллографта. *REJR*. 2024; 14(4):214-224. DOI:10.21569/2222-7415-2024-14-4-214-224.
- Kovesdy C.P. Epidemiology of chronic kidney disease: an update 2022. *Kidney International Supplements* (2011). 2022; 12(1): 7-11. DOI: 10.1016/j.kisu.2021.11.003.
- López-Oliva MO, Rivas B, Pérez-Fernández E, et al. Pre-transplant peritoneal dialysis relative to hemodialysis improves long-term survival of kidney transplant patients: a single-center observational study. *Int Urol Nephrol* 2014; 46(4):825-832.
- Zhe Zhang, Kun Shao, Chun Zhou, Peijun Zhou, Quan Zhou, Huimin An, et al. Using 1/2 Descending Time in CEUS to Identify Renal Allograft Rejection. *Academic Radiology* 2024; 31:3248-3256; DOI:10.1016/j.acra.2024.01.027.
- Gulab Chhajjer, Venkatesh Kasi Arunachalam, Rajkumar Ramasamy, Pankaj Mehta, Mathew Cherian. Elastography: a surrogate marker of renal allograft fibrosis – quantification by shear-wave technique. *Polish Journal of Radiology*; 2021; 86: 151-156. DOI: 10.5114/pjr.2021.104582.
- KDIGO clinical practice guideline for the care of kidney transplant recipients. *American Journal of Transplantation*. 2009; 9 Suppl 3:S1-155.
- Daopeng Yang, Bowen Zhuang, Yanling Zheng, Ming Xu, Jinhua Lin, Xiaoe Zhang, et al. Shear wave elastography using high-frequency linear probe for kidney transplant monitoring: A methodological study. *Clinical Hemorheology and Microcirculation* 84 (2023) 165-176. DOI 10.3233/CH-221668.
- Poggio ED, McClelland RL, Blank KN, et al. Systematic review and meta-analysis of native kidney biopsy complications. *Clin J Am Soc Nephrol* 2020; 15(11):1595-1602.
- Тухбатуллин М.Г., Галеев Ш.Р., Гарифуллина А.И., Галеев Р.Х. Ультразвуковая эластография сдвиговой волной в оценке состояния почечного трансплантата. *Современные технологии в медицине*. 2017; 9 (4): 131-136. DOI: 10.17691/stm2017.9.4.16.
- Grenier N, Poulain S, Lepreux S, et al. Quantitative elastography of renal transplants using supersonic shear imaging: a pilot study. *European Radiology*. 2012; 22: 2138-2146 DOI: 10.1007/s00330-012-2471-9.
- Гажонова В.Е., Зубарев А.В., Пулатова И.З. Инновационные подходы в диагностике очаговых образований молочной железы категории BI-RADS 3-4: роль и перспективы интеграции ультразвукового исследования с контрастированием и эластографии. *REJR*. 2025; 15 (1):107-118. DOI: 10.21569/2222-7415-2025-15-1-107-118
- Эктов Д.Б., Пыков М.И., Валов А.А., Молчанова М.С., Кушнир Б.А., Мартыненко А.В. Гемодинамика в почечном трансплантате у детей при различных морфологических изменениях в отдаленном посттрансплантационном периоде. *Медицинский совет*. 2021;(1):286-293. DOI:10.21518/2079-701X-2021-1-286-293.
- Ashbina K, Ramakrishnan KG, Janardhanan S, et al. A study of serial shearwave sonoelastography (SWE) using supersonic imaging in early renal post-transplant period. *Journal Evolution Med Dent Sci*. 2024;13(01):1-10, DOI:10.14260/jemds.v13i1.539.
- Мухаметдинова А.М., Тухбатуллин М.Г., Фомина Е.Е.

**References:**

1. Mallamaci, F., Tripepi, G. Risk Factors of Chronic Kidney Disease Progression: Between Old and New Concepts. *Journal Clinical of Medicine*. 2024; 13 (3): 678; <https://doi.org/10.3390/jcm13030678>.
2. Larionova S.N., Vetsheva N.N., Belavina N.I., Balter R.B., Manchenko O.V., Boryaev E.A., et al. Features of ultrasonic study of nonfunctioning renal transplant in a patient with allograft intolerance syndrome. *REJR*. 2024; 14(4):214-224. DOI: 10.21569/2222-7415-2024-14-4-214-224 (in Russian).
3. Kovesdy C.P. Epidemiology of chronic kidney disease: an update 2022. *Kidney International Supplements* (2011). 2022; 12(1): 7-11. DOI: 10.1016/j.kisu.2021.11.003.
4. López-Oliva MO, Rivas B, Pérez-Fernández E, et al. Pre-transplant peritoneal dialysis relative to hemodialysis improves long-term survival of kidney transplant patients: a single-center observational study. *Int Urol Nephrol* 2014; 46(4):825-832.
5. Zhe Zhang, Kun Shao, Chun Zhou, Peijun Zhou, Quan Zhou, Huimin An, et al. Using 1/2 Descending Time in CEUS to Identify Renal Allograft Rejection. *Academic Radiology* 2024; 31:3248-3256; <https://doi.org/10.1016/j.acra.2024.01.027>.
6. Gulab Chhajer, Venkatesh Kasi Arunachalam, Rajkumar Ramasamy, Pankaj Mehta, Mathew Cherian. Elastography: a surrogate marker of renal allograft fibrosis – quantification by shear-wave technique. *Polish Journal of Radiology*; 2021; 86: 151-156. DOI: <https://doi.org/10.5114/pjr.2021.104582>.
7. KDIGO clinical practice guideline for the care of kidney transplant recipients. *American Journal of Transplantation*. 2009; 9 Suppl 3: S1-155.
8. Daopeng Yang, Bowen Zhuang, Yanling Zheng, Ming Xu, Jinhua Lin, Xiaor Zhang, et al. Shear wave elastography using high-frequency linear probe for kidney transplant monitoring: A methodological study. *Clinical Hemorheology and Microcirculation* 84 (2023) 165–176. DOI 10.3233/CH-221668.
9. Poggio ED, McClelland RL, Blank KN, et al. Systematic review and meta-analysis of native kidney biopsy complications. *Clin J Am Soc Nephrol* 2020; 15(11):1595–1602.
10. Tukhbatullin M.G., Galeev Sh.R., Garifullina L.I., Galeev R.H. Shear wave ultrasound elastography to evaluate the state of renal transplant. *Modern Tehnologies in Medicine* 2017; 9(4): 131-136; <https://doi.org/10.17691/stm2017.9.4.16>.
11. Grenier N, Poulain S, Lepreux S, et al. Quantitative elastography of renal transplants using supersonic shear imaging: a pilot study. *European Radiology*. 2012; 22: 2138-2146.
12. Gazhonova V.E., Zubarev A.V., Pulatova I.Z. Innovative approaches to diagnostics of focal lesions of the mammary gland of category BI-RADS 3-4: the role and prospects of integration of ultrasound examination with contrast and elastography. *Russian Electronic Journal of Radiology*. 2025; 15 (1): 107-118. DOI: 10.21569/2222-7415-2025-15-1-107-118 (in Russian).
13. Ektov D.B., Pykov M.I., Valov A.L., Molchanova M.S., Kushnir B.L., Martynenkova A.V. Hemodynamics in renal transplant in children with various morphological changes in the long-term post-transplant period. *Medical Council*. 2021;(1):286-293 doi:10.21518/2079-701X-2021-1-286-293 (in Russian).
14. Ashbina K, Ramakrishnan KG, Janardhanan S, et al. A study of serial shearwave sonoelastography (SWE) using supersonic imaging in early renal post-transplant period. *Journal Evolution Med Dent Sci*. 2024;13(01):1-10, DOI:10.14260/jemds.v13i1.539.
15. Mukhametdinova L.M., Tukhbatullin M.G., Fomina E.E. The Importance of Ultrasound Examination of Renal Allograft. *Acta Medica Eurasica Journal*. 2024; 2: 27-33. DOI: 10.47026/2413-4864-2024-2-27-33 (in Russian).