

# Медико-биологические проблемы жизнедеятельности

Научно-практический рецензируемый журнал

№ 2(32)

2024 г.

## Учредитель

Государственное учреждение  
«Республиканский научно-  
практический центр  
радиационной медицины  
и экологии человека»

## Журнал включен в

Перечень научных изданий  
Республики Беларусь  
для опубликования  
диссертационных исследований  
по медицинской и биологической  
отраслям науки  
(31.12.2009, протокол 25/1)

## Журнал зарегистрирован

Министерством информации  
Республики Беларусь,  
Свид. № 762 от 6.11.2009

Подписано в печать 27.09.24  
Формат 60×90/8. Бумага мелованная.  
Гарнитура «Times New Roman».  
Печать цифровая. Тираж 120 экз.  
Усл. печ. л. 21,25. Уч.-изд. л. 12,94.  
Зак. 524.

Издатель ГУ «Республиканский  
научно-практический центр  
радиационной медицины  
и экологии человека»  
Свидетельство N 1/410 от 14.08.2014

Отпечатано в  
КУП «Редакция газеты  
«Гомельская праўда»  
г. Гомель, ул. Полесская, 17а

ISSN 2074-2088

## Главный редактор,

### председатель редакционной коллегии

А.В. Рожко (д.м.н., профессор)

### Редакционная коллегия

В.С. Аверин (д.б.н., профессор, зам. гл. редактора),  
В.В. Аничкин (д.м.н., профессор), В.Н. Беляковский (д.м.н.,  
профессор), К.Н. Буздакин (к.т.н., доцент), Н.Г. Власова (д.б.н.,  
профессор, научный редактор), А.В. Величко (к.м.н., доцент),  
И.В. Веякин (к.б.н., доцент), Н.Н. Веякина (к.б.н., отв.  
секретарь), А.В. Воропаева (к.б.н., доцент), Д.И. Гавриленко  
(к.м.н.), М.О. Досина (к.б.н., доцент), А.В. Жарикова (к.м.н.),  
С.В. Зыблева (д.м.н., доцент), С.А. Игумнов (д.м.н., профессор),  
А.В. Коротаяев (к.м.н., доцент), А.Н. Лызинов (д.м.н., профессор),  
А.В. Макарич (к.м.н., доцент), С.Б. Мельнов (д.б.н., профессор),  
В.М. Мицура (д.м.н., доцент), Я.Л. Навменова (к.м.н.,  
доцент), Э.А. Надыров (к.м.н., доцент), И.А. Новикова (д.м.н.,  
профессор), Э.Н. Платошкин (к.м.н., доцент), Э.А. Повелица  
(к.м.н.), А.С. Подгорная (к.м.н.), Ю.И. Рожко (к.м.н., доцент),  
И.П. Ромашевская (к.м.н.), А.П. Саливончик (к.б.н.), А.Е. Силин  
(к.б.н., доцент), А.Н. Стожаров (д.б.н., профессор), И.О. Стома  
(д.м.н., профессор), Н.И. Шевченко (к.б.н., доцент), Ю.И. Ярец  
(к.м.н., доцент)

### Редакционный совет

А.В. Аклеев (д.м.н., профессор, Челябинск), О.В. Алейникова  
(д.м.н., чл.-кор. НАН РБ, Минск), С.С. Алексанин (д.м.н.,  
профессор, Санкт-Петербург), Е.Л. Богдан (Минск),  
Л.А. Бокерия (д.м.н., академик РАН и РАМН, Москва),  
А.Ю. Бушманов (д.м.н., профессор, Москва), И.И. Дедов  
(д.м.н., академик РАМН, Москва), В.И. Жарко (Минск),  
К.В. Котенко (д.м.н., профессор, Москва), В.Ю. Кравцов  
(д.б.н., профессор, Санкт-Петербург), Е.Н. Кроткова (к.м.н.,  
доцент, Минск), Н.Г. Кручинский (д.м.н., профессор, Пинск),  
Т.В. Мохорт (д.м.н., профессор, Минск), Д.Л. Пиневиц (Минск),  
В.Ю. Рыбников (д.м.н., профессор, Санкт-Петербург), А.Л. Усс  
(д.м.н., профессор, Минск), В.А. Филонюк (д.м.н., профессор,  
Минск), Р.А. Часнойть (к.э.н., Минск), В.Д. Шило (Минск)

### Технический редактор

С.Н. Никонович

### Корректор

Н.Н. Юрченко

**Адрес редакции** 246040 г. Гомель, ул. Ильича, д. 290,  
ГУ «РНПЦ РМ и ЭЧ», редакция журнала  
тел (0232) 38-95-00, факс (0232) 37-80-97  
<http://www.mbp.rcrm.by> e-mail: [mbp@rcrm.by](mailto:mbp@rcrm.by)

© Государственное учреждение  
«Республиканский научно-практический центр  
радиационной медицины и экологии человека», 2024

№ 2(32)

2024

# Medical and Biological Problems of Life Activity

Scientific and Practical Journal

## **Founder**

Republican Research Centre  
for Radiation Medicine  
and Human Ecology

Journal registration  
by the Ministry of information  
of Republic of Belarus

Certificate № 762 of 6.11.2009

© Republican Research Centre  
for Radiation Medicine  
and Human Ecology

**ISSN 2074-2088**

**Обзоры и проблемные статьи**

**А.В. Рожко, С.В. Зыблева, А.В. Жарикова,  
В.М. Мицура, Н.Н. Багинская**

Роль государственного учреждения «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека» в системе здравоохранения и перспективы его развития

7

**Э.В. Вист, А.В. Бойко, М.М. Селицкий**

Воспаление как движущая сила нейродегенерации. Основы персонализированной диагностики и лечения (обзор литературы)

15

**Ж.М. Козич, В.Н. Мартинков, Н.Н. Климович,  
Т.В. Руденкова, С.А. Костюк,  
Н.В. Сердюкова**

Новые подходы в диагностике и терапии множественной миеломы (обзор литературы)

23

**Н.И. Тимофеева, Е.Г. Жук**

Оценка жесткости паренхимы почечного аллотрансплантата сдвиговой волновой соноэластографией (обзор литературы)

29

**Медико-биологические проблемы**

**Т.Э. Владимирская, И.Э. Адзериho,  
А.М. Устемчук**

Оценка эндотелиального апоптоза в легочных артериях крыс с монокроталин-индуцированной легочной артериальной гипертензией

37

**Н.Г. Власова, К.Н. Буздалькин, Л.Н. Эвентова,  
А.Н. Матарас, Г.Н. Евтушкова,  
Д.Б. Куликович**

Реконструкция индивидуализированных доз внутреннего облучения в условиях неопределенности и неполных данных СИЧ-измерений

44

**Д.Б. Куликович**

Сравнительный анализ методов реконструкции индивидуализированных доз внешнего облучения населения, проживающего на радиоактивно-загрязненной территории

50

**Reviews and problem articles**

**A.V. Rozhko, S.V. Zybleva, A.V. Zharikova,  
V.M. Mitsura, N.N. Baginskaya**

The role of state institution «Republican research center for radiation medicine and human ecology» in the healthcare system and its development prospects

**E.V. Vist, A.V. Boika, M.M. Sialitski**

Inflammation as a driving force of neurodegeneration. Fundamentals of personalized diagnostics and treatment

**Zh.M. Kozich, V.N. Martinkov, N.N. Klimovich,  
T.V. Rudenkova, S.A. Kostyuk,  
N.V. Serdyukova**

New approaches in the diagnosis and treatment of multiple myeloma (review)

**N.I. Timofeeva, E.G. Zhuk**

Shear wave ultrasound elastography in assessing the stiffness of the renal allograft parenchyma (literature review)

**Medical-biological problems**

**T.Ye. Vladimirskaja, I.Ye. Adzeriho,  
A.M. Ustemchuk**

Assessment of endothelial apoptosis in the pulmonary arteries of rats with monocrotaline-induced pulmonary arterial hypertension

**N.G. Vlasova, K.N. Buzdalkin, L.N. Eventova,  
A.N. Mataras, G.N. Yevtushkova,  
D.B. Kulikovich**

Reconstruction of individualized radiation doses under conditions of uncertainty and incomplete of whole-body  $\gamma$ -spectrum analyzer measurement data

**D.B. Kulikovich**

Comparative analysis of methods for reconstruction of individualized external exposure doses to population living in a radioactively contaminated territory

- Е.В. Мартищенко, Н.Д. Пузан, Г.З. Гутцева, И.А. Чешик**  
 Результаты опроса респондентов Гомельской и Витебской областей относительно наиболее часто используемых в повседневной жизни устройств (видов связи) 58
- Е.К. Нилова, К.Н. Буздалькин**  
 Методология экспресс-оценки радиационной обстановки с применением мобильной лаборатории 65
- Т.В. Переволоцкая, А.Н. Переволоцкий**  
 Оценка радиационной обстановки и внешнего облучения работников лесного хозяйства при проведении работ в I и II зонах радиоактивного загрязнения 73
- Д.В. Чарнаштан, Ю.В. Бондарева, Ф.Н. Карпенко, М.П. Потапнев, Н.В. Чуешова, Н.Н. Веялкина, Н.Г. Мальцева, Э.А. Надыров, Д.А. Зиновкин, В.И. Николаев**  
 Доклиническая оценка эффективности интрамедуллярной биокompозитной костной пластики в ранние сроки после имплантации бесцементного бедренного компонента эндопротеза тазобедренного сустава у лабораторных крыс 79
- Н.В. Чуешова, В.М. Щемелев, Е.А. Щурова, И.А. Чешик**  
 Антиоксидантная система печени крыс-самцов на разных этапах онтогенеза в условиях хронического воздействия электромагнитного поля низкой интенсивности 87

### ***Клиническая медицина***

- А.Ю. Захарко, А.С. Подгорная, О.В. Мурашко, М.Ю. Жандаров, А.Р. Ромбальская**  
 Анализ случаев гладкомышечных опухолей матки с неопределенным злокачественным потенциалом (STUMP) в ГУ «РНПЦ радиационной медицины и экологии человека» 95

### ***Clinical medicine***

- A.Yu. Zaharko, A.S. Podgornaya, O.V. Murashko, M.Yu. Zhandarov, A.R. Rombalskaya**  
 Analysis of cases of smooth muscle tumors of the uterus with uncertain malignant potential (STUMP) at the SI «Republican research center for radiation medicine and human ecology»

<b>С.Л. Зыблев, А.Е. Силин, В.Н. Мартинков, С.В. Зыблева, А.В. Величко, Б.О. Кабешев</b>		<b>S.L. Zyblev, A.E. Silin, V.N. Martinkov, S.V. Zybleva, A.V. Velichko, B.O. Kabeshev</b>	
Динамика уровня такролимуса у реципиентов почечного трансплантата	100	Dynamics of tacrolimus levels in renal transplant recipients	
<b>С.А. Иванов, О.Г. Хоров, А.М. Юрковский, А.С. Богомаз</b>		<b>S.A. Ivanov, O.G. Khorov, A.M. Yurkovsky, A.S. Bogomaz</b>	
Замещение дефектов наружного носа с использованием хрящевых аллогraftов: послеоперационные осложнения и косметические результаты	105	Nasal defect reconstruction using cartilage allografts: postoperative complications and cosmetic outcomes	
<b>Т.Х. Нгуен, Д.Ш. Нгуен, В.Д. Чан, Ф.К. Дао, Т.Б.Л. Нгуен, М.Т. Нгуен</b>		<b>T.H. Nguen, D.Sh. Nguen, V.D. Chan, F.K. Dao, T.B.L. Nguen, M.T. Nguen</b>	
Распространенность респираторных симптомов у рабочих промышленных предприятий	111	Prevalence of respiratory symptoms in industrial workers	
<b>И.А. Новикова, К.С. Макеева, Е.Ф. Мицура</b>		<b>I.A. Novikova, K.S. Makeyeva, E.F. Mitsura</b>	
Параметры функциональной активности нейтрофилов у детей с наследственным сфероцитозом	121	Parameters of neutrophil functional activity in children with hereditary spherocytosis	
<b>Э.А. Повелица, О.В. Пархоменко, В.А. Рожко, В.А. Доманцевич, А.В. Доманцевич, А.А. Чулков, А.М. Шестерня, О.Г. Жариков</b>		<b>E.A. Povelitsa, O.V. Parhomenko, V.A. Rohko, V.A. Domantsevich, A.V. Domantsevich, A.A. Chulkov, A.M. Shesternya, O.G. Zharikov</b>	
Хирургическое лечение андрогенитальных проявлений варикозной болезни малого таза	127	Surgical treatment of androgenital manifestations of pelvic vein disease	
<b>Э.А. Повелица, О.В. Пархоменко, В.А. Рожко, В.А. Доманцевич, А.М. Шестерня</b>		<b>E.A. Povelitsa, O.V. Parhomenko, V.A. Rozhko, V.A. Domantsevich, A.M. Shesternya</b>	
Микрохирургическая флэбэктомия вен семенного канатика с использованием системы визуализации 3d NGENUITY	136	Microsurgical phlebectomy of the spermatic cord veins using the 3d NGENUITY visualization system	
<b>Е.В. Родина, Д.И. Гавриленко, Н.И. Корженевская, О.А. Романива, А.П. Саливончик, Н.Г. Кадочкина, С.Н. Коржева, Е.В. Семеняго, Е.П. Науменко</b>		<b>A.V. Rodzina, D.I. Haurylenka, N.I. Korzhaneuskaya, A.A. Romaniva, A.P. Salivontchik, N.G. Kadotchkina, S.N. Korzhava, Ye.V. Semeniah, A.P. Naumenka</b>	
Структурно-функциональные изменения сердца у пациентов, перенесших ИНФЕКЦИЮ COVID-19	142	Structural and functional cardiac changes in patients with COVID-19 infection	
<b>А.А. Чулков, З.А. Дундаров, А.В. Величко, Б.О. Кабешев, Э.А. Повелица, Я.Л. Навменова, Ю.И. Ярец</b>		<b>A.A. Chulkov, Z.A. Dundarov, A.V. Velichko, B.O. Kabeshev, E.A. Povelitsa, Ya.L. Navmenova, Yu.I. Yarets</b>	
Клинико-лабораторная оценка функции гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси у пациентов после унилатеральной адреналэктомии	148	Clinical and laboratory evaluation of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis function in patients after unilateral adrenalectomy	

**Обмен опытом****Experience exchange****А.В. Жарикова, Н.В. Лысенкова**

Мультидисциплинарный подход — залог успешности лечения пациентов с хронической мигренью

154

**А.С. Подгорная, А.Ю. Захарко, О.В. Мурашко, В.Н. Калачев**

ACUM — редкая мюллеровая патология (клинический случай)

161

**Н.В. Холупко, Я.Л. Навменова, Е.С. Махлина, А.В. Коротаев, А.В. Рожко**

Амиодарон-индуцированный тиреотоксикоз: клинический случай

167

**A.V. Zharikova, N.V. Lysenkova**

Multidisciplinary approach is the key to successful treatment of patients with chronic migraine

**A.S. Podgornaya, A.Yu. Zakharko, O.V. Murashko, V.N. Kalachev**

ACUM — rare mullerian pathology (clinical case)

**N.V. Kholupko, Ya.L. Navmenova, E.S. Makhlina, A.V. Korotaev, A.V. Rozhko**

Amiodarone-induced thyrotoxicosis: a clinical case

## ОЦЕНКА ЖЕСТКОСТИ ПАРЕНХИМЫ ПОЧЕЧНОГО АЛЛОТРАНСПЛАНТАТА СДВИГОВОЛЬНОЙ СОНОЭЛАСТОГРАФИЕЙ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

<sup>1</sup>ГУ «РНПЦ радиационной медицины и экологии человека» г. Гомель, Беларусь;

<sup>2</sup>Институт повышения квалификации и переподготовки кадров здравоохранения  
УО «Белорусский государственный медицинский университет» г. Минск, Беларусь

В данной статье представлен обзор современных литературных данных, посвященных применению сдвиговолновой соноэластографии для оценки жесткости паренхимы почечного аллотрансплантата (АТП). Несмотря на прогрессивное развитие медицины, наиболее полноценным методом в лечении терминальной почечной недостаточности является трансплантация почки, которая позволяет сохранить качество жизни пациента на достаточно высоком уровне. Однако данная операция сопряжена с риском отторжения, что ведет к выраженной дисфункции органа. Сегодня «золотым стандартом» диагностики дисфункции почечного трансплантата является гистологическое исследование биоптата. В то же время биопсия, являясь инвазивным методом диагностики, имеет свои ограничения, связанные с противопоказаниями, а также чревата осложнениями. Следовательно, актуальным является разработка доступного и неинвазивного способа оценки состояния почечного трансплантата.

**Ключевые слова:** УЗИ, эластография, ультразвуковая эластография сдвиговой волной, трансплантация, почечный аллотрансплантат

### **Введение**

В мире наблюдается неуклонный рост числа пациентов, имеющих терминальную стадию хронической почечной недостаточности. Ожидаемый годовой прирост пациентов с данным диагнозом в Республике Беларусь составляет около 15–18% [1].

Наиболее радикальным и эффективным методом в лечении терминальной хронической почечной недостаточности является трансплантация почки, позволяющая избежать постоянной диализной терапии, вернуться к обычному образу жизни, что значительно повышает качество жизни человека. Однако для проведения пересадки необходимо не только наличие донора, но и строгие медицинские показания [2, 3].

Среди пациентов, которым сделана трансплантация почки, риск смерти на 68% ниже в сравнении с теми, кто ожидает трансплантации на диализе. Однако в различные

сроки посттрансплантационного периода есть риск развития отторжения почечного трансплантата. В этом случае методом выбора становится диализная терапия. Подавляющее большинство пациентов, которые возобновляют диализную терапию, больше не подвергаются трансплантации, при этом случаи повторной трансплантации почки составляют всего 13–37% [4, 5].

Ежегодно проводятся десятки тысяч операций по трансплантации почек: в 2021 году их количество составило 92 532 в мире; в Республике Беларусь частота трансплантаций составляет 35,7 на миллион населения [1].

Современные методы заместительной почечной терапии открывают перед пациентами с почечной недостаточностью новые горизонты. Они не только помогают людям выжить, но и обеспечивают высокое качество жизни, что позволяет многим продолжать работать, заниматься любимыми

делами, активно участвовать в общественной жизни, путешествовать [3].

Несмотря на то, что последние годы были отмечены значительным прогрессом кратковременного выживания почечного трансплантата, а также внедрением эффективных методов иммуносупрессии, риск отторжения по-прежнему остается одной из основных проблем трансплантации почки [2, 6].

Отторжение почечного трансплантата является серьезным осложнением, которое может возникнуть после операции по пересадке. При этом иммунная система организма реципиента начинает воспринимать новый орган как чужеродный объект, активируя гуморальный и/или клеточный воспалительный ответ. Этот патологический процесс может привести к серьезной дисфункции трансплантированного органа и даже к его потере. Морфологической основой прогрессирующего нарушения функции почечного трансплантата является нефросклероз, следствием которого могут быть как острое, так и хроническое отторжение. Нефротоксичное воздействие ингибиторов кальциневрина также может приводить к потере аллотрансплантата [7].

Так, по данным Lohéac C. с соавторами, причинами потери почечного трансплантата были: отторжение, опосредованное антителами (31,69%), тромбоз (25,55%), сопутствующие заболевания (14,62%), рецидив первичного заболевания почек (7,1%), нефропатия, связанная с полиомавирусом или цитомегаловирусом (n=35, 4,78%), отторжение, опосредованное Т-клетками (4,78%), урологическое заболевание (2,46%) и нефротоксичность ингибиторов кальциневрина (1,09%). Медиана наблюдения составила 49 месяцев [8].

По данным El-Zoghby Z.M., Stegall M.D. с соавторами, в течение среднего периода наблюдения 50,3±32,6 месяца (медиана — 49 месяцев, диапазон — 0–138) были потеряны 330 (25,0%) трансплантатов из 1 317. Из них 138 потерь (41,8%) были связаны со смертью пациента с функционирующим трансплантатом, 39 (11,8%) вызваны первичной нефункциональностью и

153 (46,3%) — другими причинами в ранее функционирующих трансплантатах [9].

В исследовании Naesens M., Kuypers D.R. с соавторами сообщается о том, что обширный интерстициальный фиброз и атрофия канальцев без четкой причины были определены как единственный фактор потери трансплантата только в 6,9% случаев, в 69,4% — установлены конкретные гистологические диагнозы, явившиеся причиной потери АТП, а в 30,6% случаев не имелось конкретных гистологических диагнозов [10].

Следовательно, диагностирование этиологии дисфункции аллотрансплантата почки является сложной задачей ввиду многообразия повреждающих факторов, их кумулятивного воздействия и возможных комбинаций. В связи с этим важное значение имеет не только профилактика, но и ранняя диагностика поражений почечного трансплантата.

**Целью** данной обзорной статьи является оценка применения ультразвуковой эластографии сдвиговой волны как неинвазивного способа определения (измерения) жесткости ткани почечного аллотрансплантата.

### **Материал и методы исследования**

Для более полного анализа научно-медицинской литературы по данной теме был проведен поиск и обработка данных из различных источников, среди которых — Российская научная электронная библиотека (eLIBRARY.ru), данные US National Library of Medicine (PubMed). Осуществлялся поиск публикаций за период с 1983 по 2024 гг.

Ключевые слова, использованные при поиске, включали в себя термины «ультразвуковая эластография сдвиговой волной», «Shear Wave Elastography», «физические основы ультразвуковой эластографии», «эластография почечного аллотрансплантата» и «почечный аллотрансплантат». Полученная литература была подвергнута анализу с целью выделения основных направлений исследования в данной области, а также выявления актуальных проблем и перспектив дальнейшего развития.



### Обсуждение

В настоящее время оценка функционального состояния почечного трансплантата проводится на основании таких, всем известных, лабораторных показателей, как скорость клубочковой фильтрации, уровень креатинина, мочевины, электролитов крови, протеинурии. В свою очередь, рост протеинурии, рост уровня сывороточного креатинина, снижение скорости клубочковой фильтрации говорят о снижении функции аллотрансплантата почки. Следовательно эти показатели можно применять с целью диагностики нарастания нефросклероза.

Данные различных исследований показали, что в 50–70% случаев сами по себе клинико-лабораторные критерии достоверно не могут указать причину дисфункции почечного аллотрансплантата. В связи с этим «золотым стандартом» диагностики отторжения АТП и дифференциальной диагностики патологии АТП является морфологическое исследование биоптатов аллотрансплантированных почек с использованием дополнительных специальных методов — иммуногистохимического типирования, электронномикроскопического исследования, — которые изменяют диагноз в 30–42% случаев и требуют коррекции иммуносупрессии у 38–83% реципиентов [4, 6, 11].

Биоптаты почки, полученные при проведении биопсии, являются важным материалом для диагностики и оценки состояния почечного трансплантата.

Для унифицирования данных морфологических изменений трансплантата почки Международным обществом нефрологов в городе Банффе в 1991 году принята Banff-классификация патологии аллотрансплантата, включающая 6 категорий: норма; антителоассоциированное/гуморальное отторжение; пограничные изменения; острое отторжение; интерстициальный фиброз; изменения, не сопряженные с отторжением. Данная классификация пересматривается каждые 2 года с последующими обновлениями [12, 13,].

Гистологическое исследование биоптата позволяет определить характер изменений в тканях почки, наличие воспаления, некроза и других патологических процессов, которые могут указывать на развитие отторжения. Но, являясь инвазивной процедурой, пункционная биопсия сопряжена с определенными рисками и осложнениями.

Ferguson C., Winters S. с соавторами в своем ретроспективном исследовании отмечают, что частота осложнений после проведения биопсии почечного трансплантата составляет: незначительные — 5,9%, серьезные — 4,3% и опасные для жизни — 0,8% [14].

Mattiazzi A.D., Cortesi C.A. с соавторами сообщают о 55 осложнениях из 678 проведенных биопсий, что соответствует 8% [15].

В работе Plattner B.W., Chen P. с соавторами указывается, что процент осложнений, связанных с биопсией, составляет 10,3% [16].

Эти данные свидетельствуют в пользу того, что изучение возможностей неинвазивного высокоинформативного метода ультразвуковой диагностики для оценки дисфункции пересаженной почки является актуальным и своевременным.

### Ультразвуковая диагностика

Методы на основе ультразвука представляют большой интерес из-за таких присутствующих им преимуществ, как безболезненность, неинвазивность, доступность (в том числе у постели больного), относительно низкая стоимость. При проведении ультразвукового исследования в 2D-режиме можно выявить следующие изменения: увеличение объема трансплантата почки; снижение или повышение эхогенности паренхимы; утолщение паренхимы; нарушение кортико-медуллярной дифференцировки и дифференцировки синус-паренхимы; снижение перфузии, оцениваемой в режиме энергетического и цветового доплеровского картирования; рост индексов резистентности и пульсативности, оцененных в режиме спектрального доплеровского картирования, которые характерны для нехирургических осложнений [17].

Отсутствие нефротоксичности и ионизирующего излучения позволяет широко использовать ультразвуковую диагностику для мониторинга состояния трансплантатов и оценки осложнений, которые можно разделить на сосудистые, паренхиматозные, мочеточниковые и паранефральные. Своевременная осведомленность об этих патологиях важна для обеспечения раннего вмешательства с целью увеличения долгосрочной выживаемости аллотрансплантата.

Современные технологии в области ультразвуковой диагностики постоянно совершенствуются, открывая новые возможности для врачей и пациентов. Одним из таких инновационных методов является ультразвуковая эластография сдвиговой волной (УЭСВ), основанная на принципе измерения жесткости тканей организма. Метод позволяет получать информацию о состоянии тканей и оценить их жесткость без применения инвазивных процедур, существенно расширяя диагностические возможности ультразвукового исследования [18].

Эластография с использованием скорости сдвиговой волны (ЭСВ) является одной из современных методик исследования жесткости тканей, в основе которой лежит измерение скорости распространения сдвиговой волны. Показателем жесткости служит модуль Юнга, который можно вычислить, используя формулу, связывающую модуль Юнга ( $E$ ), скорость сдвиговой волны ( $C$ ) и плотность вещества ( $\rho$ ):  $E = 3\rho C^2$ . Скорость сдвиговой волны обычно выше в жестких тканях и ниже в мягких, что отражает их различную жесткость. Нормальные ультразвуковые волны — продольные волны со скоростью распространения в тканях 1450–1550 м/с. — также имеют различную скорость распространения в разных типах тканей. Но при проведении ультразвукового исследования оказалось технически сложным отследить разницу в скорости прохождения акустических волн через разные типы тканей. Сдвиговая волна является поперечной со скоростью распространения 1–10 м/с, при этом она распространяется перпендикулярно акустической волне.

Принцип работы метода основан на оценке скорости распространения сдвиговой волны в тканях. Упругость ткани, выраженная через параметр  $E$ , прямо пропорциональна скорости данной волны, а это значит, что жесткость тем выше, чем выше скорость распространения сдвиговой волны. Для гомогенных сред данное соотношение работает идеально, однако для гетерогенных или анизотропных тканей, таких как мышцы или почечные пирамидки, более предпочтительным является использование вместо модуля Юнга скорости сдвиговой волны как показателя жесткости [18, 19].

За последние два десятилетия соноэластография постепенно стала использоваться в качестве инструмента для оценки жесткости мягких тканей и дополнения информации, полученной с помощью традиционных серо-шкальных и доплеровских ультразвуковых методов исследования. Недавно представленная на ультразвуковых сканерах сдвиговолновая эластография (SWE) считается более объективной, чем компрессионная соноэластография, так как является воспроизводимой и количественной [20].

Европейская федерация ультразвука в биологии и медицине (EFSUMB) в рекомендациях 2017 г. предлагает применение эластографии как аналога удаленной пальпации, дающей дополнительную информацию о состоянии тканей, которую нельзя получить с помощью обычного ультразвукового исследования [21].

Nitin P. Ghonge и Mohita Mohan с соавторами в своем исследовании оценивали роль сдвиговолновой соноэластографии в дифференцировке стабильного почечного аллотрансплантата от острой дисфункции аллотрансплантата и хронической дисфункции аллотрансплантата. Средние значения жесткости паренхимы при стабильном аллотрансплантате, острой дисфункции аллотрансплантата и хронической дисфункции аллотрансплантата составили  $8,51 \pm 2,44$  кПа,  $11,06 \pm 2,91$  кПа и  $24,50 \pm 4,49$  кПа соответственно. Согласно их вывода, соноэластографическая оценка сдвиговой волной жесткости почечной паренхимы может помочь диф-

ференцировать стабильный аллотрансплантат от острой и хронической дисфункции аллотрансплантата, а также может отражать функциональное состояние почечного аллотрансплантата [22].

В исследовании Volboacă S.D., Elesc F.I. с соавторами оценивалась вариабельность жесткости почечного аллотрансплантата в зависимости от дисфункции АТП. Пациенты были клинически классифицированы как имеющие стабильную функцию аллотрансплантата и дисфункцию аллотрансплантата. Жесткость коркового слоя АТП показала значительно более высокие значения в случаях с дисфункцией (Me 28,70 кПа, IQR 25,68–31,98 кПа) по сравнению с пациентами со стабильной функцией (Me 20,99 кПа, IQR 16,08–27,68 кПа;  $p=0,0142$ ). Жесткость ткани аллотрансплантата (как коркового, так и мозгового слоя) значительно отрицательно коррелировала с индексом массы тела ( $-0,44$ ,  $p<0,0001$  для коркового слоя аллотрансплантата и  $-0,42$ ,  $p=0,0001$  для мозгового слоя аллотрансплантата) и положительно коррелировала с соотношением протеинурия/креатинурия ( $0,33$ ,  $p=0,0021$  для коркового слоя аллотрансплантата и  $0,28$ ,  $p=0,0105$  для мозгового слоя аллотрансплантата), но оставалась статистически значимой только в случаях со стабильной функцией. Цифры жесткости АТП оказались значительно более высокими в случаях с дисфункцией по сравнению с пациентами со стабильной функцией, но для того, чтобы метод стал дополнительным инструментом для оценки пациентов с трансплантатом почки, необходимы более обширные исследования [23].

Группа исследователей Huang X., Nie F. с соавторами ретроспективно проанализировали цифры жесткости паренхимы 54 пациентов с почечным аллотрансплантатом (пациенты были разделены на две группы: стабильная группа ( $n=44$ ) и группа CR (хроническое отторжение почечного аллотрансплантата (CR) ( $n=10$ )) и получили статистически значимую разницу в жесткости паренхимы между стабильной группой ( $16,2\pm 1,2$  кПа) и группой CR ( $33,9\pm 6,6$  кПа) ( $p=0,027$ ).

Чувствительность составила 90%, а специфичность — 81,8% при дифференциации стабильной группы от группы CR (пороговое значение 2;  $p=0,000$ ). В итоге пришли к выводу о том, что ультразвуковая эластография сдвиговой волной в сочетании с микрососудистой визуализацией может помочь дифференцировать стабильно функционирующий почечный аллотрансплантат от хронического отторжения АТП, что имеет потенциальную прикладную ценность в диагностике дисфункции почечного аллотрансплантата [24].

Gonçalves L.M., Forte G.C. с соавторами отмечают связь между жесткостью коры трансплантированной почки, оцененной с помощью ультразвуковой эластографии сдвиговой волной, и индексом резистентности. Они обследовали 55 пациентов с АТП, из которых у 9 (16,4%) RI был определен как аномальный ( $\geq 0,79$ ), а у 46 (83,6%) RI был определен как нормальный ( $< 0,79$ ). Средний возраст был выше в группе с аномальным RI, чем в группе с нормальным RI ( $68,0\pm 8,6$  лет против  $42,6\pm 14,1$  лет;  $p < 0,001$ ), как и средняя скорость сдвиговой волны ( $2,6\pm 0,4$  м/с против  $2,2\pm 0,4$  м/с;  $p = 0,013$ ) [25].

Проведя проспективное исследование по оценке полезности ультразвуковой сдвиговолновой эластографии (SWE) как неинвазивного метода, для точного выявления и потенциальной оценки степени тяжести фиброза почечного аллотрансплантата, а также оценки его воспроизводимости для пользователя Early H.M., Cheang E.C. с соавторами указывают, что медианные значения показателей сдвиговолновой соноэластографии мозгового вещества достигли статистической значимости ( $p=0,04$ ) в связи с фиброзом. При этом для каждого увеличения единицы медианного значения жесткости мозгового вещества вероятность фиброза увеличивалась примерно на 20%. Не было обнаружено статистической значимости для средних значений коркового, медианного коркового или среднего медулярного SWE ( $P = 0,32$ ,  $0,37$  и  $0,06$  соответственно) в связи с фиброзом [26].

Chhajjer G., Arunachalam V.K. с соавторами с помощью ультразвуковой эласто-

графии сдвиговой волной, проведя оценку жесткости почечного аллотрансплантата 172 пациентам, дополнив исследование последующей биопсией, указывают на значительную корреляцию между оценкой по Банффу и средним значением жесткости с коэффициентом корреляции 0,665 ( $p < 0,001$ ). При этом коэффициенты корреляции интерстициального фиброза и атрофии канальцев со средним значением жесткости составили 0,667 и 0,649 соответственно ( $p < 0,001$ ). Авторы сделали заключение о том, что жесткость паренхимы почек значительно коррелирует с гистопатологическим фиброзом, и что сдвиговая эластография может использоваться в качестве суррогатного маркера для раннего выявления фиброза почек [27].

Проведя сравнение соноэластографии сдвиговой волной, магнитно-резонансной эластографии, микрососудистого кровотока 25 пациентам с АТП, среди которых функциональный АТП [FCT],  $n=14$ ; с хронической дисфункцией АТП [DYS],  $n=11$ , Marticorena Garcia S.R., Guo J. с соавторами получили следующие результаты: FCT показал более высокую скорость сдвиговой волны, чем DYS, как в коре, так и в пирамидах (кора, FCT:  $3,75 \pm 0,82$  м/с против DYS:  $2,79 \pm 0,73$  м/с,  $p=0,0002$ ; пирамида, FCT:  $2,89 \pm 0,46$  м/с против DYS:  $2,39 \pm 0,34$  м/с,  $p=0,044$ ). Пороговые значения 3,265 м/с для коркового вещества, 2,535 м/с для пирамид и 2,985 м/с для комбинированной паренхимы, с чувствительностью для обнаружения дисфункции почечного аллотрансплантата 72,7%, 77,8% и 90,9% и специфичностью 71,4%, 78,6% и 85,7% [28].

По данным работы Stock K.F., Klein B.S. с соавторами выявлена значимая положительная корреляция между средними значениями эластографии технологией Acoustic Radiation Force Impulse (ARFI) и степенью фиброза (коэффициент корреляции Спирмена ( $r_s$ ) = +0,465;  $p=0,026$ ). Тем не менее, не было получено значимой корреляции между средними значениями ARFI и резистивными индексами в АТП ( $r_s$  = +0,034;  $p=0,904$ ); была установлена

корреляция между средними значениями индекса резистентности почки и степенью фиброза ( $r_s$  = +0,563;  $p=0,015$ ) [29].

Исследование М.Г. Тухбатуллина с соавторами показало, что ультразвуковая эластография сдвиговой волной имеет высокую диагностическую значимость при оценке состояния почечного трансплантата как в ранние, так и в отдаленные сроки наблюдения. Цифры жесткости паренхимы трансплантированной почки, полученные при помощи ультразвуковой эластографии сдвиговой волной, составили  $26,14 \pm 1,50$  кПа в 1-й группе (со стабильной функцией АТП);  $28,75 \pm 0,76$  кПа ( $p=0,0099$ ) во 2-й группе (группа пациентов с повышенным уровнем креатинина); уровень креатинина в 1-й группе соответствовал  $143,3 \pm 11,9$  мкмоль/л; во 2-й группе —  $161,8 \pm 9,0$  мкмоль/л ( $p=0,268$ ), с коэффициентом корреляции креатинина и жесткости паренхимы  $r=0,452$  в 1-й группе и  $r=0,375$  во 2-й группе, что является статистически значимым [30].

Работы других зарубежных исследователей говорят о том, что жесткость почечной паренхимы, измеренная с помощью транзиентной эластографии, отражает интерстициальный фиброз. Но, учитывая факт, что неоднородная морфологическая структура почек может влиять на измерения, предлагаются другие методы для оценки скорости сдвиговой волны в почках у реципиентов почечного трансплантата, такие как эластография ARFI и эластография 2D-сдвиговой волны.

В Государственном учреждении «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека» с февраля 2023 по март 2024 года проведено ультразвуковое исследование почек, дополненное эластографией сдвиговой волной, 20 пациентам.

Исследования проводились на ультразвуковом сканере MINDRAY DC-80, оснащенном различными видами эластографии, в том числе и эластографией сдвиговых волн; с применением конвексного датчика с диапазоном частот 1–6 МГц. Статистическую обработку полученных данных прово-

дили с помощью статистических программ Statistica 10,0. Учитывая, что распределение в группах было отлично от нормального, для оценки результатов проведенного исследования применяли непараметрические статистические методы, данные рассчитывали в виде медианы ( $Q_1$ ;  $Q_3$ ), различия считали значимыми при  $p < 0,05$ .

Пациенты были разделены на две группы: первую группу составили пациенты с почечным трансплантатом (( $n=14$ ): мужчин — 6, женщин — 8), вторую (контрольную) группу представили пациенты, не имеющие в анамнезе патологии мочевыделительной системы (( $n=6$ ): мужчин — 2, женщин — 4). Группы пациентов были сопоставимы по возрасту: в группе с почечным трансплантатом медиана возраста составила 45,5 (38,0; 51,0) года; в контрольной — 41,5 (38,0; 48,0) года ( $p > 0,05$ ).

Ультразвуковая диагностика почек с соноэластографией сдвиговой волной была выполнена всем пациентам с целью определения возможностей ультразвуковой эластографии сдвиговой волной при исследовании пациентов с нативными почками и с почечным трансплантатом. Исследование проводили в 2D-режиме, дополненном эластографией сдвиговой волной, которая позволила оценить жесткость паренхимы почек. В результате значение медианы жесткости паренхимы почек пациентов контрольной группы составило 7,83 (7,48; 8,1) кПа; паренхимы почечного трансплантата — 13,9 (10,4; 20,27) кПа ( $p < 0,05$ ). Вышеприведенные данные указывают на то, что жесткость паренхимы почек несколько выше у пациентов с почечным трансплантатом. Учитывая малое количество исследований с применением сдвиговолновой соноэластографии, описанных в мировой научной литературе, для интерпретации полученных данных необходимо большее количество исследований.

### **Выводы:**

1. Неинвазивная диагностика дисфункции почечного аллотрансплантата является актуальной проблемой в мире и Республике Беларусь.

2. Ультразвуковая диагностика с эластографией сдвиговой волной является перспективным дополнительным неинвазивным методом диагностики.

3. Для того, чтобы метод ультразвуковой диагностики с эластографией сдвиговой волной стал дополнительным инструментом для оценки почечного трансплантата, необходимы более обширные исследования.

### **Библиографический список**

1. Transplant-observatory [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.transplant-observatory.org/>. – Date of access: 16.02.2024.
2. Руммо, О.О. Инновационные перспективы развития службы органной трансплантации в Республике Беларусь / О.О. Руммо // Инновац. технологии в медицине. – 2013. – № 1. – С. 111-120.
3. Швецов, М.Ю. Это должен знать каждый! Для чего нужны почки и как они работают? Как проверить состояние почек? Отчего возникают болезни почек? Как сохранить почки здоровыми? / М.Ю. Швецов // Почки и здоровье: науч.-популяр. прил. к журн. «Нефрология». – 2011. – Т. 15, №1. – С. 3-32.
4. Systematic review: kidney transplantation compared with dialysis in clinically relevant outcomes / M. Tonelli [et al.] // Am J Transplant. – 2011. – Vol. 11, №10. – P. 2093-2109.
5. Kidney Transplantation in the Context of Renal Replacement Therapy / T.E. Pesavento [et al.] // Clin J Am Soc Nephrol. – 2009. – Vol. 4, №12. – P. 2035-2039.
6. Острое отторжение в ранние сроки после трансплантации почки / Н.В. Шмарина [и др.] // Трансплантология. – 2012. – № 1-2. – С. 15-19.
7. Прогноз выживаемости почечного трансплантата: иммунологический риск и тип отторжения / М. С. Храброва [и др.] // Нефрология. – 2015. – Т. 9, №14. – С. 41-50.
8. Étude des étiologies spécifiques de perte des greffons rénaux : place du rejet médié par les anticorps et approche en population [Identifying the specific causes of kidney allograft loss: A population-based study] / C. Lohéac // Nephrol Ther. – 2018. – Vol. 14, suppl. 1. – P. S39-S50.
9. Identifying specific causes of kidney allograft loss / Z. M. El-Zoghby [et al.] // Am J Transplant. – 2009. – Vol. 9, № 3. – P. 527-535.
10. The histology of kidney transplant failure: a long-term follow-up study / M. Naesens [et al.] // Transplantation. – 2014. – Vol. 98, №4. – P. 427-435.
11. Трансплантация почки, наличие трансплантированной почки, отмирание и отторжение трансплантата почки. Клинические рекомендации / Рос. трансплантол. о-во. – М., 2020. – 95 с.
12. A 2018 reference guide to the banff classification of renal allograft pathology / C. Roufosse [et al.] // Transplantation. – 2018. – Vol. 102, №11. – P. 1795-1814.

13. Significance of the Banff borderline biopsy / E.J. Schweitzer [et al.] // *Am. J. of Kidney Dis.* – 1996. – Vol. 28, №4. – P. 585-588.
14. A retrospective analysis of complication and adequacy rates of ultrasound-guided native and transplant non-focal renal biopsies / C. Ferguson [et al.] // *Abdom Radiol.* – 2018. – Vol. 43, №8. – P. 2183-2189.
15. Percutaneous Ultrasound-Guided Kidney Transplant Biopsy Outcomes: From the Nephrologist to the Radiologist Standpoint / A. D. Mattiazzi [et al.] // *Kidney360.* – 2022. – Vol. 3, №10. – P. 1746-1753.
16. Complications and adequacy of transplant kidney biopsies: A comparison of techniques / B.W. Plattner [et al.] // *J Vasc. Access.* – 2018. – Vol. 19, №3. – P. 291-296.
17. Федорук, А. М. Ультразвуковые образы нехирургических осложнений трансплантации почки / А. М. Федорук // *Мед. новости.* – 2017. – № 12. – С. 35-38.
18. Ultrasound elastography: review of techniques and clinical applications / R.M.S. Sigrist [et al.] // *Theranostics.* – 2017. – Vol. 7, №5. – P. 1303-1329.
19. Физические основы эластографии печени / В.А. Изранов [и др.] // *Вестн. Балт. федер. ун-та им. И. Канта. Сер.: Естеств. и мед. науки.* – 2019. – № 2. – С. 69-87.
20. Shear-wave elastography: basic physics and musculoskeletal applications / M.S. Taljanovic [et al.] // *Radiographics.* – 2017. – Vol. 37, №3. – P. 855-870.
21. EFSUMB guidelines and recommendations on the clinical use of liver ultrasound elastography, Update 2017 (Long Version) / C.F. Dietrich [et al.] // *Ultraschall in der Med.* – 2017. – Vol. 38, №4. – P. e16-e47.
22. Renal allograft dysfunction: evaluation with shear-wave sonoelastography / N.P. Ghonghe [et al.] // *Radiology.* – 2018. – Vol. 288, №1. – P. 146-152.
23. Shear-wave elastography variability analysis and relation with kidney allograft dysfunction: a single-center study / S.D. Bolboacă [et al.] // *Diagnostics.* – 2020. – Vol. 10, №1. – P. 41.
24. Application value of shear-wave elastography combined with monochrome superb microvascular imaging in renal allograft chronic rejection / X. Huang [et al.] // *Clin. Hemorheol. and Microcirc.* – 2022. – Vol. 82, №4. – P. 303-311.
25. Shear wave elastography and Doppler ultrasound in kidney transplant recipients / L. M. Gonçalves [et al.] // *Radiol. Bras.* – 2022. – Vol. 55, №1. – P. 19-23.
26. Utility of shear wave elastography for assessing allograft fibrosis in renal transplant recipients: a pilot study / H.M. Early [et al.] // *J. of Ultrasound in Med.* – 2018. – Vol. 37, №6. – P. 1455-1465.
27. Elastography: a surrogate marker of renal allograft fibrosis – quantification by shear-wave technique / G. Chhajaj [et al.] // *Pol. J. of Radiol.* – 2021. – Vol. 86. – P. e151-e156.
28. Comparison of ultrasound shear wave elastography with magnetic resonance elastography and renal microvascular flow in the assessment of chronic renal allograft dysfunction / S. R. Marticorena Garcia [et al.] // *Acta Radiol.* – 2018. – Vol. 59, №9. – P. 1139-1145.
29. ARFI-based tissue elasticity quantification in comparison to histology for the diagnosis of renal transplant fibrosis / K.F. Stock [et al.] // *Clin. Hemorheol. and Microcirc.* – 2010. – Vol. 46, №2-3. – P. 139-148.
30. Ультразвуковая эластография сдвиговой волной в оценке состояния почечного трансплантата / М.Г. Тухбатуллин [и др.] // *Соврем. технологии в медицине.* – 2017. – Т. 9, №4. – С. 131-136.

N.I. Timofeeva, E.G. Zhuk

**SHEAR WAVE ULTRASOUND ELASTOGRAPHY IN  
ASSESSING THE STIFFNESS OF THE RENAL ALLOGRAFT  
PARENCHYMA (LITERATURE REVIEW)**

This article provides a review of current literature data on the use of shear wave ultrasound elastography in assessing the condition of the renal allograft. Currently, kidney transplantation is the most complete method of replacing the lost function of one's own kidneys, providing the highest quality of life, but it is associated with the risk of rejection. Rejection of a transplanted kidney leads to severe organ dysfunction. Today, the gold standard for diagnosing renal transplant dysfunction is histological examination of a biopsy specimen, but biopsy, being an invasive diagnostic method, has its limitations, contraindications and complications. Therefore, the emergence of an accessible and non-invasive method for assessing the function of a renal graft is relevant.

**Key words:** *ultrasound; elastography, shear wave ultrasound elastography, transplantation, renal allograft*

Поступила 20.09.2024