



Юсупов А.Ф., Мавлянова У.Ф. ✉, Махкамова Д.К.

Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр
микрохирургии глаза, Ташкент, Узбекистан

Динамика снижения толщины рRNFL у пациентов с терминальной стадией хронической почечной недостаточности

Конфликт интересов: не заявлен.

Вклад авторов: дизайн и организация исследования – Юсупов А.Ф.; сбор клинического материала – Мавлянова У.Ф.; статистическая обработка, работа с таблицами и графиками – Махкамова Д.К.; работа с текстом – Юсупов А.Ф., Мавлянова У.Ф.

Подана: 30.01.2024

Принята: 26.02.2024

Контакты: drumidamavlyanova@gmail.com

Резюме

Цель. Определение степени нейродегенеративных процессов в сетчатке путем оценки динамики снижения толщины рRNFL у пациентов с терминальной стадией хронической почечной недостаточности (ХПН) недиабетического генеза, получающих гемодиализ.

Материалы и методы. Исследование степени нейродегенерации в сетчатке проводилось на основании динамики снижения толщины рRNFL в течение 2-летнего периода наблюдения у пациентов с терминальной стадией ХПН, которые регулярно получали гемодиализ. На основании критериев отбора была сформирована выборка из 81 пациента (162 глаза). В качестве контрольной группы была также отобрана однородная по полу и возрасту выборка из 30 здоровых лиц (60 глаз). Исследование проводилось на устройстве DRI OCT Triton и включало расчет коэффициента регрессии (B), доверительного интервала (CI), а также определение коэффициента линейной регрессии для выявления значимости факторов, влияющих на степень истончения рRNFL у пациентов.

Результаты. В группе пациентов с терминальной стадией ХПН в течение 2-летнего периода наблюдения отмечалось статистически достоверное ($p < 0,05$) снижение показателя толщины рRNFL, которое было подтверждено результатами расчета показателей коэффициента регрессии (B) и доверительного интервала (CI). Наиболее выраженное истончение слоя рRNFL было выявлено в верхнем и нижнем назальных секторах, а также в нижне-темпоральном секторе у пациентов с терминальной стадией ХПН. Наиболее значимым фактором, влияющим на динамику снижения толщины рRNFL у пациентов основной группы, являлся показатель скорости клубочковой фильтрации (СКФ), главным образом характеризующий тяжесть ХПН.

Заключение. У пациентов с терминальной стадией ХПН недиабетического генеза, получающих гемодиализ, имел место значительно ускоренный темп снижения толщины рRNFL по сравнению со здоровыми пациентами контрольной группы. Наличие у пациентов тяжелой формы ХПН, выражавшейся в сниженном показателе СКФ, обусловило более быстрое снижение толщины рRNFL.



Ключевые слова: хроническая почечная недостаточность, сетчатка, нейродегенерация, pRNFL

Yusupov A., Mavlyanova U. ✉, Makhkamova D.

Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center for Eye Microsurgery,
Tashkent, Uzbekistan

Dynamic of pRNFL Thickness in Patients with End-Stage Chronic Kidney Disease

Conflict of interest: nothing to declare.

Authors' contribution: design and organization of the study – Yusupov A.; collection of clinical material – Mavlyanova U.; statistical processing, work with tables and graphs – Makhkamova D.; work with text – Yusupov A., Mavlyanova U.

Submitted: 30.01.2024

Accepted: 26.02.2024

Contacts: drumidamavlyanova@gmail.com

Abstract

Purpose. Assessment of the degree of neurodegenerative processes in the retina by evaluating the dynamics of peripapillary retinal nerve fiber layer (pRNFL) thickness in patients with end-stage non-diabetic chronic kidney disease (CKD) undergoing hemodialysis.

Materials and Methods. The study of neurodegeneration in the retina was based on the dynamics of peripapillary retinal nerve fiber layer (pRNFL) thickness over a 2-year observation period in patients with end-stage CKD regularly undergoing hemodialysis. A sample of 81 patients (162 eyes) was selected based on inclusion criteria, and a control group of 30 healthy individuals (60 eyes) matched for gender and age was also chosen. The study was conducted using the DRI OCT Triton device (Topcon). The investigation included the calculation of the regression coefficient (B), confidence interval (CI), and determination of the linear regression coefficient to assess the significance of factors influencing the degree of pRNFL thinning in patients.

Results. In the group of patients with end-stage CKD, a statistically significant ($p < 0.05$) decrease in pRNFL thickness was observed over the 2-year observation period, as confirmed by the results of the regression coefficient (B) and confidence interval (CI) calculations. The most pronounced thinning of the pRNFL layer was identified in the upper and lower nasal sectors, as well as the lower temporal sector in patients with end-stage CKD. The most significant factor influencing the pRNFL dynamics in the main group was the glomerular filtration rate (GFR), primarily indicative of the severity of CKD.

Conclusion. Non-diabetic patients with end-stage CKD undergoing hemodialysis experienced a significantly faster rate of pRNFL loss compared to healthy individuals in the control group. The presence of more severe CKD, reflected in a lower GFR, was associated with a more rapid loss of pRNFL in CKD patients.

Keywords: chronic kidney disease, retina, neurodegeneration, pRNFL

■ ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в мире наблюдается неуклонный рост числа пациентов с патологией почек, исходом которой является хроническая почечная недостаточность (ХПН). ХПН представляет собой завершающий этап прогрессирующего поражения почек, вызванного постепенной гибелью функциональных единиц почечной ткани (нефронов). Частота встречаемости ХПН колеблется в различных пределах [1, 2]. В Узбекистане в настоящее время наблюдается ежегодный неуклонный рост гемодиализных пациентов по всей республике (в среднем 8,5% за последние 4 года) [3].

Согласно последним данным зарубежных исследований, структурные изменения органа зрения, связанные с уремической офтальмопатией, наблюдаются у всех пациентов с ХПН [4]. Одним из наиболее известных офтальмологических проявлений уремии является альбуминурическая ретинопатия, описанная Гельмгольцем, которая характеризуется кровоизлияниями глазного дна, двусторонней отслойкой сетчатки, типичными ватообразными очагами и образованием «фигуры звезды» в области желтого пятна. Развитие технологий гемодиализа привело к тому, что при своевременном лечении указанные выше офтальмологические проявления в классической форме уже не наблюдаются, хотя эта тенденция не отражена в современной литературе [2, 5].

Как показывает ряд исследований [6–8], пациенты с ХПН также более подвержены процессам нейродегенерации в сетчатке. Атрофия зрительного нерва со значительным снижением зрительных функций может развиваться у пациентов с терминальной стадией ХПН. Понимание особенностей течения процессов нейродегенерации и факторов риска, связанных с ней, может быть важным для сохранения зрительной функции у таких пациентов.

Толщина перипапиллярного слоя нервных волокон сетчатки (рRNFL), измеренная с помощью оптической когерентной томографии (ОКТ), отражает степень потери аксонов зрительного нерва и может служить маркером нейродегенерации в сетчатке. Показано, что нарушение функции почек является фактором, ассоциированным со снижением толщины рRNFL. В частности, у пациентов с заболеваниями почек диабетического генеза было выявлено уменьшение толщины рRNFL по сравнению с группой здоровых лиц [9]. Также установлено, что у пациентов с терминальной стадией ХПН чаще наблюдается уменьшение толщины рRNFL или наличие дефектов рRNFL в нескольких секторах [6, 8].

Тем не менее большинство существующих работ [6, 8–10] в данной области носили характер перекрестного исследования и не были направлены на то, чтобы определить, является ли нейродегенерация сетчатки при ХПН стационарной или прогрессирующей. Выявленные дефекты рRNFL в этих исследованиях могут быть последствиями как повреждений нервных волокон до диагностики ХПН, так и патологических процессов, приведших к ускоренной нейродегенерации вследствие ХПН. Степени потери толщины рRNFL на разных стадиях ХПН также остаются не до конца изученными.

В связи с этим актуальным является изучение изменений в рRNFL при терминальной стадии ХПН недиабетического генеза в динамике и сравнение их с изменениями показателей здоровых лиц, которые вызваны инволюционными процессами.



■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценить степень нейродегенеративных процессов в сетчатке у пациентов с терминальной стадией ХПН недиабетического генеза, получающих гемодиализ, на основании динамики снижения толщины рRNFL в течение 2-летнего периода наблюдения.

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование осуществлялось на базе Республиканского специализированного научно-практического медицинского центра микрохирургии глаза (Ташкент, Узбекистан) в период 2020–2023 гг. Исследование включало комплексное углубленное офтальмологическое обследование пациентов с терминальной стадией ХПН, которые регулярно наблюдались и получали гемодиализ в центре нефрологии.

Исследование имело дизайн 2-летнего продольного исследования для более наглядного представления тенденций изменений в исследуемой группе. Также оценивались факторы риска, связанные с изменениями толщины рRNFL в динамике у пациентов с терминальной стадией ХПН.

Критерии включения пациентов в исследование:

- наличие терминальной стадии ХПН (4–5-я стадия), которая была подтверждена результатами соответствующих лабораторных исследований согласно классификации, предложенной KDOQI (2002), по данным скорости клубочковой фильтрации;
- наличие информированного согласия пациента на участие в исследовании.

Критерии исключения из исследования:

- сахарный диабет;
- офтальмологические заболевания, препятствующие визуализации глазного дна и проведению ОКТ (зрелая или полная катаракта, гемофтальм, увеит, патология витреоретинального интерфейса);
- ВМД влажной или сухой формы выше 2-й категории по AREDS;
- глаукома;
- неудачный исход трансплантации почки в течение 2 лет наблюдения после операции;
- летальный исход в течение 2-летнего наблюдения у пациентов с ХПН, находившихся на гемодиализе;
- аномалии рефракции в виде миопии менее $-4,0$ дптр или гиперметропии более $+3,0$ дптр.

На основании критериев отбора была сформирована выборка из 81 пациента (162 глаза) с терминальной стадией ХПН недиабетического генеза, получавших гемодиализ. Распределение пациентов по гендерному признаку: 49 (60,5%) мужчин и 32 (39,5%) женщины. Средний возраст составлял $35,5 \pm 9,7$ года. Развитие ХПН у пациентов было обусловлено хроническим гломерулонефритом, хроническим пиелонефритом, поликистозом почек и другими аномалиями почек (табл. 1).

В качестве контрольной группы была отобрана однородная по полу и возрасту выборка из 30 здоровых лиц (60 глаз), которая также соответствовала критериям исключения.

Таблица 1
Демографические и общие клинические показатели пациентов (n=81)
Table 1
Demographic and general clinical parameters of patients (n=81)

Показатели	n	%
Мужчины/Женщины	49/32	60,5/39,5
Возраст 18–44 года	60	74,07
Возраст 45–59 лет	19	23,45
Возраст 60–74 года	2	2,46
Хронический гломерулонефрит	61	75,3
Хронический пиелонефрит	14	17,28
Поликистоз почек	3	3,7
Другие аномалии почек	3	3,7
4-я стадия ХБП по KDOQI	16	19,75
5-я стадия ХБП по KDOQI	65	80,24
АГ	73	90,12
СКФ (M±SD), мл/мин/1,73 м²	17,76±8,42	

В исследовании проводился анализ средней толщины рRNFL, секторальных показателей, а также морфометрических показателей ДЗН. Для оценки структурных изменений сетчатки у пациентов с терминальной стадией ХПН использовался метод ОКТ сетчатки. Исследование проводилось на устройстве DRI OCT Triton (Topcon), которое представляет собой ОКТ с технологией Swept Source (частотно-модулируемый источник). Нормативная база данных ОКТ с частотно-модулированным источником DRI OCT Triton включает нормативную базу данных для статистических сравнений карт толщины и параметров. Слои тканей сетчатки автоматически сегментируются с помощью программного обеспечения Topcon Advanced Boundary, позволяя выполнить количественную оценку внутренней толщины для анализа изменений.

Статистический анализ, помимо вычисления стандартных показателей вариационной статистики (mean±SD), включал расчет коэффициента регрессии (B), доверительного интервала (CI), а также определение коэффициента линейной регрессии для выявления значимости факторов, влияющих на степень истончения рRNFL у пациентов. За статистически значимые изменения принимали уровень достоверности $p<0,05$.

■ РЕЗУЛЬТАТЫ

Учитывая специфику и патогенетические основы развития изменений глазного дна при ХБП и ХПН, патологический процесс целесообразно расценивать как почечную ангиоретинопатию. При обследовании глазного дна пациентов принимались во внимание признаки ангиопатии сосудов сетчатки в виде суженных артерии, расширенных вен с повышенной извитостью, артериовенозных перекрестов (с-м Салюса – Гунна 1–3-й степени), утолщения стенок сосудов, расширения светового рефлекса, симптома «медной» или «серебряной проволоки», зон частичной или полной облитерации артериол, признаки ретинопатии и макулопатии в виде геморрагии, твердых экссудатов, ватообразных очагов и ослабления или отсутствия макуло-фовеального рефлекса, а также признаки изменения ДЗН в виде деколорации диска зрительного нерва и признаки отека ДЗН. Распространенность основных офтальмоскопических признаков почечной ангиоретинопатии представлена на рис. 1.



Рис. 1. Распространенность основных офтальмоскопических симптомов у пациентов с терминальной стадией ХПН недиабетического генеза (n=162)
Fig. 1. Prevalence of the main ophthalmoscopic symptoms in patients with terminal stage of CKD of nondiabetic genesis (n=162)

Результаты сравнительного анализа морфометрических показателей ДЗН на основании данных ОКТ в виде площади ДЗН (Disc area), площади нейроретинального пояса (Rim area) и соотношения экскавации к диску (Cup-to-disc ratio) показали, что

Таблица 2
Динамика снижения толщины pRNFL
Table 2
Dynamics of pRNFL thickness

Показатели	Пациенты с терминальной стадией ХПН, находящиеся на гемодиализе (n=81, 162 глаза)	Контрольная группа (n=30, 60 глаз)
Исходная толщина pRNFL (mean±SD)	91,7±8,4	97,6±6,4
Толщина pRNFL через 1 год наблюдения (mean±SD)	89,5±9,2	96,3±6,7
Изменения в сравнении с исходным показателем (mean±SD)	-1,8±3,4	-0,6±2,8
Толщина pRNFL через 2 года наблюдения (mean±SD)	86,6±7,6	96,2±6,9
Изменения в сравнении с исходным показателем (mean±SD)	-3,1±3,8	-0,7±2,7
B (95% CI)	-1,34 (от -2,15 до -0,55)	-0,24 (от 0,61 до 0,08)
P	0,004	0,141

Примечания: B – коэффициент регрессии, CI – доверительный интервал, p<0,05.

между показателями пациентов с терминальной стадией ХПН, находящихся на гемодиализе, и пациентами контрольной группы достоверных различий выявлено не было.

В табл. 2 представлены результаты анализа динамики изменения средних показателей рRNFL в течение 2 лет в группе пациентов с терминальной стадией ХПН, получавших гемодиализ, и пациентов контрольной группы. Из данных таблицы видно, что в группе пациентов с терминальной стадией ХПН в течение 2-летнего периода наблюдения отмечалось статистически достоверное ($p < 0,05$) снижение показателя толщины рRNFL, которое было подтверждено результатами расчета показателей коэффициента регрессии (B) и доверительного интервала (CI). При этом в течение первого года наблюдения в основной группе отмечено снижение показателя толщины рRNFL на $-1,8 \pm 3,4$ мкм ($-0,6 \pm 2,8$ мкм в контрольной группе) в сравнении с исходным показателем, а в течение второго года наблюдения – на $-3,1 \pm 3,8$ мкм ($-0,7 \pm 2,7$ мкм) в сравнении с исходным показателем.

На рис. 2, 3 представлены результаты анализа динамики (%) снижения толщины рRNFL по секторам в исследуемых группах. По данным графиков видно, что наиболее выраженное истончение слоя рRNFL было выявлено в верхнем и нижнем назальных секторах, а также в нижне-темпоральном секторе у пациентов с терминальной стадией ХПН.

Результаты вычисления коэффициента линейной регрессии для определения значимости факторов, влияющих на степень истончения рRNFL у пациентов в исследуемых группах, показали, что наиболее значимым фактором, влияющим на динамику снижения толщины рRNFL у пациентов основной группы, являлся показатель СКФ, главным образом характеризующий тяжесть ХПН. По результатам статистического анализа и расчета коэффициента линейной регрессии именно данный показатель имел статистически достоверные различия ($p < 0,05$) в сравнении с другими показателями в виде АГ, МКОЗ, ВГД и возраста пациентов (табл. 3).

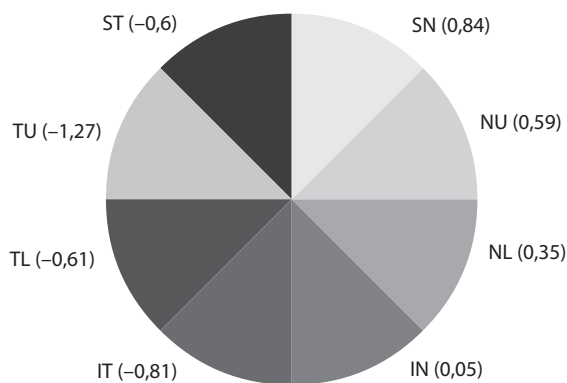


Рис. 2. Контрольная группа. Результаты анализа динамики (%) снижения толщины рRNFL по секторам в исследуемых группах: SN – superior nasal; NU – nasal upper; NL – nasal lower; IN – inferior nasal; IT – inferior nasal; TL – temporal lower; TU – temporal upper; ST – superior temporal
Fig. 2. Control group. Results of analysis of dynamics (%) of pRNFL thickness decrease by sectors in the studied groups (SN – superior nasal; NU – nasal upper; NL – nasal lower; IN – inferior nasal; IT – inferior nasal; TL – temporal lower; TU – temporal upper; ST – superior temporal)

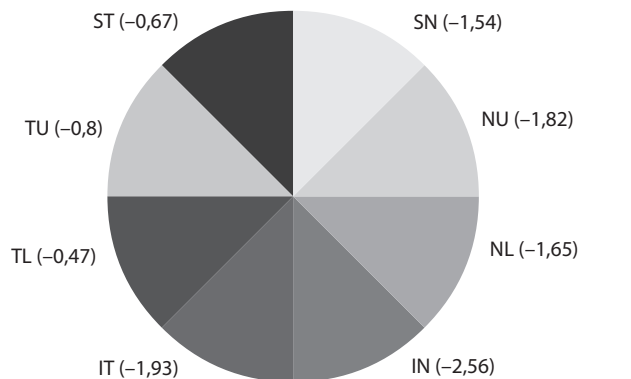


Рис. 3. Пациенты с терминальной стадией ХПН, находящиеся на гемодиализе. Результаты анализа динамики (%) снижения толщины рRNFL по секторам в исследуемых группах: SN – superior nasal; NU – nasal upper; NL – nasal lower; IN – inferior nasal; IT – inferior nasal; TL – temporal lower; TU – temporal upper; ST – superior temporal

Fig. 3. Patients with the terminal stage of CKD on haemodialysis. Results of analyses of dynamics (%) of pRNFL thickness reduction by sectors in the studied groups (SN – superior nasal; NU – nasal upper; NL – nasal lower; IN – inferior nasal; IT – inferior nasal; TL – temporal lower; TU – temporal upper; ST – superior temporal)

Таблица 3
Результаты вычисления коэффициента линейной регрессии для определения значимости факторов, влияющих на степень истончения рRNFL у пациентов в исследуемых группах

Table 3
Results of linear regression coefficient calculation to determine the significance of factors affecting the degree of pRNFL thinning in patients in the studied groups

Факторы	Пациенты с терминальной стадией ХПН, находящиеся на гемодиализе (n=81, 162 глаза)		
	Коэффициент	95% CI	P
Возраст	-0,009	от -0,07 до 0,05	0,765
АГ	-1,721	от -3,31 до -0,22	0,027
СКФ	-0,623	от -1,05 до -0,21	0,004
МКОЗ	-1,45	от 5,76 до 2,74	0,475
ВГД	-0,04	от 0,26 до 0,18	0,683

Примечание: p<0,05.

■ ОБСУЖДЕНИЕ

В данной работе были представлены результаты проспективного продольного исследования, оценивающего темп изменения толщины рRNFL у пациентов с терминальной стадией ХПН недиабетического генеза, получающих гемодиализ. Было обнаружено, что у них имел место значительно более быстрый темп потери толщины рRNFL по сравнению со здоровыми пациентами контрольной группы. Наличие у пациентов тяжелой формы ХПН, выражавшейся в сниженном показателе СКФ, обусловило более быстрое снижение толщины рRNFL.

Точный механизм нейродегенерации у пациентов с ХПН пока не установлен [11, 12]. В настоящем исследовании было выявлено, что ВГД не было связано с изменением толщины рRNFL, как и другие факторы. Следовательно, ускоренное снижение

толщины рRNFL в группе пациентов с терминальной стадией ХПН недиабетического генеза, вероятно, обусловлено системными процессами.

Возможный патогенез развития нейродегенерации при ХПН недиабетического генеза можно объяснить 2 основными механизмами. Согласно первому, нейродегенерация является результатом основных системных сопутствующих заболеваний, таких как сахарный диабет (СД) и артериальная гипертензия (АГ). Известно, что при СД может развиваться нейродегенерация в сетчатке [8, 10]. Учитывая, что пациенты с СД были исключены из нашего исследования, данный фактор можно не принимать во внимание для нашей когорты пациентов. Истончение рRNFL также может быть связано с микроваскулярными нарушениями, связанными с АГ, такими как атеросклероз, повышение периферического сопротивления сосудов, склероз сосудов, недостаточность ауторегуляции и ишемия [13].

В одном из исследований сообщалось, что темп снижения толщины рRNFL у пациентов с АГ продолжительностью более 5 лет был примерно в 2,5 раза выше, чем у соответствующих по возрасту лиц контрольной группы [9, 11]. Наши линейные регрессионные модели также показали, что АГ является независимым фактором, связанным с изменением толщины рRNFL в течение 2 лет у пациентов с терминальной стадией ХПН недиабетического генеза.

Второй механизм нейродегенерации у пациентов с терминальной стадией ХПН может включать в себя факторы патогенеза, связанные с самой ХПН. У пациентов с ХПН более высокая вариабельность АД отмечалась от визита к визиту или в течение 24 часов, что может повышать жесткость стенок артерий и их адаптивное ремоделирование [12, 13]. Диализная гипотензия и гипертензия также являются распространенными осложнениями у пациентов с терминальной стадией ХПН, что также вызывает дисфункцию эндотелия и увеличение жесткости стенок артерий [14]. Показано, что высокая вариабельность АД у пациентов с терминальной стадией ХПН связана со снижением плотности сосудов и увеличением области с отсутствием кровотока в поверхностной сосудистой сети сетчатки. Эти гемодинамические нарушения могут приводить к повреждению тканей сетчатки и повышению риска нарушений перфузии и ускоренной нейродегенерации [15].

Также дополнительными факторами развития нейродегенерации в сетчатке у пациентов с терминальной стадией ХПН могут быть развивающиеся системный воспалительный процесс, оксидативный стресс, дисрегуляция ренин-ангиотензиновой системы и наличие уремии. Эти факторы могут вызвать повышение нейродегенерации и уровней свободных радикалов, нарушение сосудистой функции, а также гибель нейронов и клеток глии в сетчатке [13, 14, 16].

Результаты нашего исследования показали, что тяжесть ХПН, выраженная в показателе СКФ, является независимым фактором, связанным со снижением толщины рRNFL в течение 2-летнего наблюдения. Темп истончения рRNFL при терминальной стадии ХПН оказался значительно более высоким, чем ранее определенный у пациентов с АГ [6, 9, 11]. Это, вероятно, указывает на то, что механизмы, связанные с ХПН, могут способствовать ускоренной потере толщины рRNFL. Некоторые глаза в основной группе имели неизменную толщину рRNFL. Это может быть связано с тем, что значение изменений рRNFL было небольшим и могло быть замаскировано вариабельностью от визита к визиту, суточными флуктуациями или временным отеком диска, связанным с острым повышением АД.



Наши результаты подтверждают, что нейродегенерация сетчатки также может способствовать ухудшению зрения у пациентов с терминальной стадией ХПН, находящихся на гемодиализе. Изменения МКОЗ частично коррелировали с изменениями толщины рRNFL в основной группе. Более того, у пациентов с терминальной стадией ХПН наблюдалась тенденция быстрой потери толщины рRNFL, а также имели место более заметные изменения показателя МКОЗ, чем у пациентов контрольной группы.

Результаты показали, что динамика снижения толщины рRNFL была более равномерной в различных секторах у пациентов с терминальной стадией ХПН недиабетического генеза, чем у здоровых лиц контрольной группы. Однако пациенты с терминальной стадией ХПН имели более заметные изменения рRNFL в верхних и нижних назальных секторах, а также частично в нижне-темпоральном секторе соответственно. Причины более быстрой потери толщины рRNFL именно в данных секторах еще предстоит выяснить. Поражение рRNFL именно в данных секторах может играть важную роль.

■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У пациентов с терминальной стадией ХПН недиабетического генеза были выявлены признаки нейродегенерации сетчатки в виде снижения толщины рRNFL. По результатам исследования доказано, что при терминальной стадии ХПН недиабетического генеза у пациентов, получающих гемодиализ, имеет место высокий темп прогрессирования потери толщины рRNFL с течением времени. На выраженность данного процесса главным образом оказывает влияние тяжесть течения ХПН.

■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Ahsan MK, Alam MR, Khanam A. Ocular Fundus Abnormalities in Pre-Dialytic Chronic Kidney Disease Patients. *Journal of Biosciences and Medicines*. 2019;7:20–35. doi: 10.4236/jbm.2019.711003
2. Fursova AZh, Derbeneva AS, Vasilyeva MA, Tarasov MS, Nikulich IF, Galkina EV. Development, clinical manifestations and diagnosis of retinal changes in chronic kidney disease. *Vestnik Oftalmologii*. 2021;137(1):107–114. doi: 10.17116/oftalma202113701107. (in Russian)
3. Djalilov U.A. Our experience in providing temporary vascular access for hemodialysis through central vein catheterization. Proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference "Healthy Kidneys – Healthy Life", dedicated to World Kidney Day. 2022:77–79. (in Russian)
4. Chen H, Zhang X, Shen X. Ocular changes during hemodialysis in patients with end-stage renal disease. *BMC Ophthalmol*. 2018;18(1):208. doi: 10.1186/s12886-018-0885-0
5. Yeung L, Wu IW, Liu CF, Lin YT, Lee CC, Sun CC. Accelerated peripapillary retinal nerve fiber layer degeneration in patients with chronic kidney disease: A 2-year longitudinal study. *Transl Vis Sci Technol*. 2022;11(12):10. doi: 10.1167/tvst.11.12.10
6. Zhu Z, Liao H, Wang W, Scheetz J, Zhang J, He M. Visual impairment and major eye diseases in chronic kidney disease: the National Health and Nutrition Examination Survey, 2005–2008. *Am J Ophthalmol*. 2020;213:24–33. doi: 10.1016/j.ajo.2020.01.002
7. Zeng X, Hu Y, Chen Y, et al. Retinal neurovascular impairment in non diabetic and non-dialytic chronic kidney disease patients. *Front Neurosci*. 2021;15:703898. doi: 10.3389/fnins.2021.703898
8. Gong X, Wang W, Li W, et al. Association between renal function and retinal neurodegeneration in Chinese patients with type 2 diabetes mellitus. *Ann Transl Med*. 2021;9:560. doi: 10.21037/atm-20-6957
9. Wu IW, Sun CC, Lee CC, et al. Retinal neurovascular changes in chronic kidney disease. *Acta Ophthalmol*. 2020;98:e848–e855. doi: 10.1111/aos.14395
10. Chow JY, She PF, Pee XK, Muda WNW, Bastion M-LC. Comparison of peripapillary retinal nerve fiber layer and macular thickness in non-diabetic chronic kidney disease and controls. *PLoS One*. 2022;17:e0266607. doi: 10.1371/journal.pone.0266607
11. Rauscher FG, Wang M, Francke M, et al. Renal function and lipid metabolism are major predictors of circumpapillary retinal nerve fiber layer thickness—the LIFE-Adult Study. *BMC Med*. 2021;19:202. doi: 10.1186/s12916-021-02064-8
12. Demir MN, Eksioğlu U, Altay M, et al. Retinal nerve fiber layer thickness in chronic renal failure without diabetes mellitus. *Eur J Ophthalmol*. 2009;19:1034–1038. doi: 10.1177/112067210901900621
13. Jung S, Bosch A, Ott C, et al. Retinal neurodegeneration in patients with end-stage renal disease assessed by spectral-domain optical coherence tomography. *Sci Rep*. 2020;10:5255. doi: 10.1038/s41598-020-61308-4
14. Jung KI, Kim SJ, Park CK. Systemic vascular risk factors for multiple retinal nerve fiber layer defects. *Sci Rep*. 2018;8:7797. doi: 10.1038/s41598-018-26160-7
15. Atilgan CU, Guven D, Akarsu OP, et al. Effects of hemodialysis on macular and retinal nerve fiber layer thicknesses in non-diabetic patients with end stage renal failure. *Saudi Med J*. 2016;37:641–647. doi: 10.15537/Smj.2016.6.13928
16. Aktas Z, Unlu M, Uludag K, Erten Y, Hasanreisoglu B. The effect of systemic erythropoietin treatment on retinal nerve fiber layer parameters in patients with chronic renal failure undergoing peritoneal dialysis. *J Glaucoma*. 2015;24:214–218. doi: 10.1097/JG.0b013e31829e54ec