

УДК 616.145.154-005.6-02:550.385
 DOI: 10.34215/1609-1175-2024-3-29-33



Прогностический алгоритм оценки риска окклюзий ретинальных вен при геомагнитных возмущениях

О.В. Коленко^{1,2,3}, Н.В. Помыткина^{1,3}, Е.Л. Сорокин^{1,3}, Я.Е. Пашенцев¹

¹ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова», Хабаровский филиал, Хабаровск, Россия

² Институт повышения квалификации специалистов здравоохранения, Хабаровск, Россия

³ Дальневосточный государственный медицинский университет, Хабаровск, Россия

Цель: Создание скрининг-прогностического алгоритма риска окклюзий ретинальных вен при геомагнитных возмущениях у пациентов с артериальной гипертензией. **Материалы и методы.** Обследованы 1512 пациентов с артериальной гипертензией 1–4-й стадий. В течение 3 лет у 391 пациента развились ретинальные венозные окклюзии. Проведено сравнительное изучение параметров системной и регионарной гемодинамики, микроциркуляторных показателей глаз данных пациентов как в условиях магнитоспокойной обстановки, так и при геомагнитных возмущениях. Для моделирования реакции микроциркуляторного русла на стресс проводилась функциональная фармакологическая инстилляционная проба 10% раствором ирифрина. Для оценки геомагнитной обстановки использовался K_p -индекс, объективно характеризующий колебания магнитного поля Земли за трехчасовой интервал времени. Применилась Международная классификация значений K_p . **Результаты.** Для статистического анализа отобрано 78 исследуемых признаков системной, регионарной гемодинамики и микроциркуляции. Выявлена прогностическая значимость 30 исследуемых признаков. Сформированы обучающая ($n = 1434$) и экзаменационная группы ($n = 78$ чел.). На основе обучающей группы был сформирован прогностический алгоритм. Установлен ряд закономерностей, позволяющих создать систему выявления риска возникновения тромбоза ретинальных вен при геомагнитных возмущениях у пациентов с гипертонической болезнью. Для выяснения наличия риска окклюзии ретинальных вен разработан коэффициент. Чувствительность алгоритма составила 89%, специфичность – 94%. **Заключение.** Сформирован прогностический алгоритм выяснения риска окклюзионных поражений ретинальных вен при геомагнитных возмущениях для пациентов с артериальной гипертензией, с высокими чувствительностью и специфичностью 89 и 94%.

Ключевые слова: геомагнитные возмущения, прогнозирование риска формирования тромбоза ретинальных вен, микроциркуляция глаза, лазерная допплеровская флуометрия

Поступила в редакцию: 29.05.2023. Получена после доработки: 13.06.23. Принята к публикации: 4.07.23

Для цитирования: Коленко О.В., Помыткина Н.В., Сорокин Е.Л., Пашенцев Я.Е. Прогностический алгоритм оценки риска окклюзий ретинальных вен при геомагнитных возмущениях. Тихоокеанский медицинский журнал. 2024;3:29–33.
 doi: 10.34215/1609-1175-2024-3-29-33

Для корреспонденции: Коленко Олег Владимирович – д.м.н., директор Хабаровского филиала НМИЦ «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» (680033, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 211); тел. 4 (212) 905-617; ORCID: 0000-0001-7501-5571;
 e-mail: naukakhvmntk@mail.ru

Prognostic algorithm for risk assessment of retinal vein occlusion under geomagnetic perturbations

O.V. Kolenko^{1,2,3}, N.V. Pomytkina^{1,3}, E.L. Sorokin^{1,3}, Ya.E. Pashentsev¹

¹ S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, the Khabarovsk Branch, Khabarovsk, Russia

² Postgraduate Institute for Public Health Workers, Khabarovsk, Russia

³ Far Eastern State Medical University, Khabarovsk, Russia

Aim. To develop a screening and prognostic algorithm for assessing the risk of retinal vein occlusion in patients with arterial hypertension under the conditions of geomagnetic disturbances. **Material and methods.** In total, 1512 patients with arterial hypertension of 1–4 stages were examined. Within the period of three years, 391 patients developed retinal venous occlusions. The parameters of systemic and regional hemodynamics in these patients, as well as ocular microcirculatory function, were compared both in a magnetically calm environment and during geomagnetic disturbances. To simulate the response of microcirculatory bed to stress, a functional pharmacological instillation test with a 10% Irifrin solution was performed. To assess the geomagnetic situation, the K_p index was used, which objectively characterizes fluctuations of the Earth's magnetic field over a 3 h time interval. The International Classification of K_p values was used. **Results.** For statistical analysis, 78 studied signs of systemic, regional hemodynamics, and microcirculation were selected. The prognostic significance of 30 studied signs was revealed. A training group (1434 people) and an examination group (78 people) were formed. Based on the training group, a predictive algorithm was formed. A number of regularities were established, which can be used to create a system for risk assessment of retinal vein thrombosis during geomagnetic disturbances in patients with hypertension. To determine the risk of retinal vein occlusion, a coefficient was developed. The algorithm showed the sensitivity and specificity of 89% and 94%, respectively. **Conclusion.** A prognostic algorithm with high sensitivity and specificity for assessing the risk of occlusive lesions of the retinal veins during geomagnetic disturbances in patients with arterial hypertension is proposed.

Keywords: geomagnetic disturbances, risk prediction of retinal vein thrombosis, eye microcirculation, laser Doppler flowmetry

Received 29 May 2023; Revised 13 June 2023; Accepted 4 July 2023

For citation: Kolenko O.V., Pomytkina N.V., Sorokin E.L., Pashentsev Ya.E. Prognostic algorithm for risk assessment of retinal vein occlusion under geomagnetic perturbations. *Pacific Medical Journal.* 2024;3:29–33. doi: 10.34215/1609-1175-2024-3-29-33

Corresponding author: Oleg V. Kolenko, Dr. Sci. (Med.), Head of Khabarovsk branch of S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution (211 Tikhookeanskaya str., Khabarovsk, 680033, Russia); ORCID: 0000-0001-7501-5571; phone: (4212) 905-617, e-mail: naukakhvmtk@mail.ru

Окклюзии вен сетчатки занимают большую долю сосудистой патологии органа зрения [1–3]. Их последствия чреваты необратимым и выраженным снижением зрения. Это указывает на необходимость выяснения предикторов риска их формирования. В патогенезе ретинальных венозных окклюзий одними из важных факторов считаются гемодинамические расстройства в системе глазничной артерии [3, 4].

На функционирование сердечно-сосудистой системы оказывает влияние состояние магнитного поля Земли [5]. Показано, что геомагнитные возмущения влияют также на системный и регионарный кровоток глаза. При углубленном изучении состояния системной и регионарной гемодинамики и микроциркуляции глаза у пациентов с тромбозами ретинальных вен и у пациентов с гипертонической болезнью (ГБ) были выявлены их определенные закономерности в периоды геомагнитных возмущений [6–12].

Цель работы – создание скрининг-прогностического алгоритма риска возникновения окклюзий ретинальных вен при геомагнитных возмущениях у пациентов, страдающих артериальной гипертензией.

Материалы и методы

В исследовании участвовали пациенты с артериальной гипертензией 1–4-й стадий ($n = 1512$) в возрасте 51–85 лет (в среднем 64,5 года), 605 мужчин, 907 женщин. При офтальмологическом обследовании у них выявлены гипертоническая ангиопатия или гипертонический ангиосклероз. У 391 пациента обнаружены ретинальные венозные окклюзии. Все пациенты проходили динамическое наблюдение в течение 3 лет. Проведено сравнительное изучение параметров системной и регионарной гемодинамики и микроциркуляторных показателей глаз в условиях магнитоспокойной обстановки и при геомагнитных возмущениях.

В качестве параметров системной гемодинамики исследовались частота сердечных сокращений, систолическое, диастолическое, среднее динамическое артериальное давление, индекс Керде (характеризующий вегетативный баланс), продолжительность задержки дыхания на выдохе (определенная кислородную обеспеченность организма). Параметры регионарной гемодинамики, характеризующие состояние кровотока в глазничной артерии, оценивались по данным, полученным при проведении ультразвуковой доплерографии надблоковой артерии с помощью доплерографа «Hadeco» DVM 4200 (Japan). Параметры микроциркуляции в системе глазничной артерии определялись при помощи контактной транссклеральной лазерной

доплеровской флюметрии на компьютеризированном анализаторе капиллярного кровотока ЛАКК-02 (НПП «Лазма», Москва).

Для моделирования реакции микроциркуляторного русла на стресс проводилась функциональная фармакологическая инстилляционная пробы 10% раствором ирифрина, α1-адреномиметиком, аналогом норадреналина.

Сведения о состоянии магнитного поля Земли были получены из информационных источников Хабаровского краевого Гидрометеоцентра и на сайте ИЗМИРАН [http://forecast.izmiran.ru]. Для оценки геомагнитной обстановки использовался K_p -индекс, объективно характеризующий колебания магнитного поля Земли за трехчасовой интервал времени. Применялась Международная классификация: при значениях $K_p < 2$ магнитное поле Земли характеризовалось как спокойное, при $K_p = 2$ или 3 – слабовозмущенное, при $K_p = 4$ – возмущенное, при $K_p = 5$ или 6 – магнитная буря, при $K_p \geq 7$ – большая магнитная буря.

Статистическую обработку данных проводили с помощью пакета «IBM SPSS Statistics Version 20». Для определения риска возникновения тромбоза ретинальных вен была построена модель множественной линейной регрессии.

Результаты исследования

Для математического анализа отобрано 78 исследуемых признаков: 12 параметров системной гемодинамики, 10 – регионарной гемодинамики, 56 – регионарной микроциркуляции. Выполненный нами математический анализ выявил прогностическую значимость 30 исследуемых признаков у двух групп пациентов: обучающая (1434 человека) и экзаменационная (78 человек). На основе обучающей группы сформирован прогностический алгоритм. Возраст пациентов данной группы составил от 54 до 84 лет (женщин – 865, мужчин – 569). После выполнения статистического анализа полученных данных установлены закономерности, позволяющие создать систему выявления риска возникновения тромбоза ретинальных вен при геомагнитных возмущениях у пациентов с ГБ. Для решения этой задачи проанализирована зависимость параметров гемодинамики и случаев возникновения окклюзий ретинальных вен с учетом коэффициента риска:

$$Y = \frac{\sum_{k=1}^{30} \beta_k x_k}{\sum_{k=1}^{30} \beta_k x_k^{kp}}, \quad (1)$$

Таблица 1

Удельный вес изучаемых признаков и их критические значения

Критическое значение признака	Вес фактора в модели	$\beta_k x^{kp}$
Показатели системной гемодинамики, $K_p < 4$		
Систолическое артериальное давление > 150 мм рт. ст.	1,64	246,0
Диастолическое артериальное давление > 86,5 мм рт. ст.	1,06	91,69
Частота сердечных сокращений > 83,5 уд./мин.	1,02	85,17
Индекс Керде > 16	0,98	15,68
Показатели системной гемодинамики, $K_p < 4$		
Повышение систолического артериального давления ≥ 15%	1,42	21,3
Повышение диастолического артериального давления ≥ 18%	1,67	30,06
Число сердечных сокращений < 63 уд./мин.	1,37	86,31
Уменьшение индекса Керде ≥ 120%, с положительных до отрицательных значений	1,62	19,44
Уменьшение продолжительности задержки дыхания выдохе ≥ 26,5%	0,53	14,05
Показатели системной гемодинамики, $K_p < 4$		
Линейная скорость кровотока в надблоковой артерии ≤ 11,5 см/с.	1,72	19,78
Пульсационный индекс ≥ 4,9	1,26	6,17
Показатели регионарной гемодинамики, $K_p < 4$		
Снижение линейной скорости кровотока в надблоковой артерии ≥ 30,1%	1,58	47,56
Снижение объемной скорости кровотока в надблоковой артерии ≥ 46,4%	0,46	21,34
Увеличение пульсационного индекса в надблоковой артерии ≥ 18,2%	1,35	24,57
Показатели регионарной микроциркуляции, $K_p < 4$		
Снижение показателя микроциркуляции после пробы ≥ 32%	1,74	55,68
Уменьшение объемного кровенаполнения ткани после пробы ≥ 15,6%	0,57	8,89
Повышение нейрогенного тонуса после пробы ≥ 16%	1,04	16,64
Повышение миогенного тонуса после пробы ≥ 14,7%	0,92	13,52
Уменьшение показателя шунтирования после пробы ≥ 10,5%	0,48	5,04
Показатели регионарной микроциркуляции, $K_p < 4$		
Увеличение показателя микроциркуляции после пробы ≥ 24,0%	1,72	41,28
Уменьшение показателя микроциркуляции после пробы ≥ 23%	1,56	35,88
Уменьшение сатурации кислорода после пробы ≥ 12%	0,63	7,56
Уменьшение амплитуды нейрогенных колебаний после пробы ≥ 20,3%	0,68	13,80
Увеличение амплитуды нейрогенных колебаний после пробы ≥ 15,6%	0,94	14,66
Уменьшение амплитуды миогенных колебаний после пробы ≥ 24,6%	1,32	32,47
Увеличение амплитуды миогенных колебаний после пробы ≥ 10,5%	1,63	17,12
Повышение нейрогенного тонуса после пробы ≥ 14%	0,94	13,16
Уменьшение нейрогенного тонуса после пробы ≥ 13%	0,37	4,81
Повышение миогенного тонуса после пробы ≥ 33%	0,68	22,44
Уменьшение миогенного тонуса после пробы ≥ 10,8%	0,79	8,53

где Y – уровень риска, k – номер признака, β – вес признака в модели, x – значение признака, x^{kp} – критическое значение признака. Значения параметров модели, коэффициентов регрессии β оценивали по методу наименьших квадратов (табл. 1).

Наибольший удельный вес фактора в модели оказался у следующих параметров: при $K_p < 4$ – систолическое АД выше 150 мм рт. ст.; линейная скорость кровотока в надблоковой артерии – от 11,5 см/сек и менее; снижение показателя микроциркуляции после пробы на 32% и более; при $K_p \geq 4$ – повышение диастолического АД от 18% и более; уменьшение индекса Керде на 120% и более; увеличение показателя микроциркуляции после пробы от 24% и выше; увеличение на 10,5% и более амплитуды миогенных колебаний после пробы [4–6].

В результате проведенных расчетов алгоритм прогнозирования можно представить следующим образом:

1) для каждого конкретного пациента измеряются все 30 параметров из таблицы 1;

2) находится уровень риска Y согласно формуле 1;

3) если численное значение Y превышает значение отсечения, равное 1,05 (значение отсечения находится с использованием ROC-анализа, см. ниже), – у конкретного пациента прогнозируется наличие высокого риска окклюзий ретинальных вен. Если значение Y , напротив, ниже порогового значения отсечения (1,05), то данный пациент имеет низкий риск формирования ретинальной венозной окклюзии.

Для разработки полученной прогностической модели с выяснением количественного показателя отсечения и выяснения ее прогностических качеств

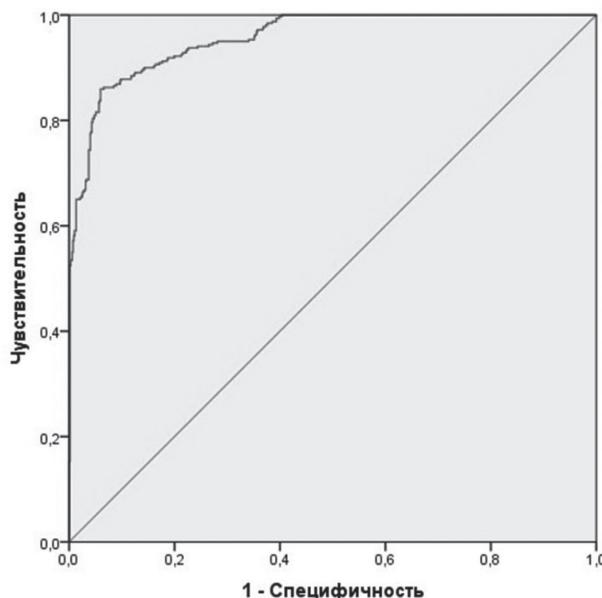


Рис. 1. ROC-кривая, представленная для обучающей группы пациентов.

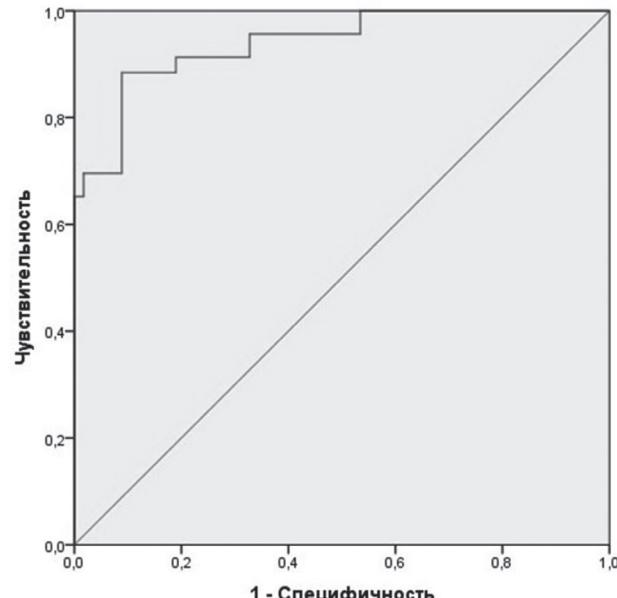


Рис. 2. ROC-кривая для экзаменационной группы пациентов.

Таблица 2

Площадь под ROC-кривой для обучающей группы пациентов

Площадь	Стд. ошибка ^a	Асимптотическая знач. ^b	Асимптотический 95% доверительный интервал	
			Нижняя граница	Верхняя граница
0,948	0,011	0,000	0,927	0,970

Примечание: а – в непараметрическом случае; б – нулевая гипотеза: истинная площадь = 0,5.

использовалась методика ROC-анализа. Применялись показатели чувствительности, специфичности и площадь под ROC-кривой (рис. 1).

Чувствительность модели отражает долю истинно положительных случаев, адекватно выявленных с помощью данного прогностического алгоритма. Специфичность характеризует долю истинно отрицательных случаев, которые также были правильно идентифицированы данным алгоритмом.

С учетом обязательных требований максимальной суммарной чувствительности и специфичности модели нами установлено конкретное количественное значение отсечения, которое оказалось равным 1,05. Чувствительность алгоритма оказалась высокой – 89%, специфичность – 94%. Поскольку площадь под ROC-кривой (AUC) составила 0,95, это означает, что данное прогнозирование характеризуется отличным качеством (табл. 2).

Затем мы выполнили исследование эффективности разработанного прогностического алгоритма. Для этого использована экзаменационная группа из 78 пациентов в возрасте 49–85 лет (36 мужчин и 42 женщины), страдающих артериальной гипертензией свыше 3 лет и систематически применяющих гипотензивные препараты. Из их числа у 21 пациента (27%, 13 женщин и 8 мужчин) выявлено, что значения показателя уровня риска составили более 1,05 (от 1,06 до 2,54). Это означало наличие у них высокого риска окклюзионных поражений ретинальных вен при $K_p \geq 4$. При динамическом наблюдении обнаружено, что у 17 пациентов в сроки до 3 лет развились окклюзии ретинальных вен.

Сформированный нами прогностический алгоритм выяснения риска окклюзионных поражений ретинальных вен характеризуется высокими показателями чувствительности и специфичности (рис. 2).

Таблица 3

Площадь под ROC-кривой для экзаменационной группы пациентов

Площадь	Стд. ошибка ^a	Асимптотическая знач. ^b	Асимптотический 95% доверительный интервал	
			Нижняя граница	Верхняя граница
0,934	0,034	0,000	0,869	0,998

Примечание: а – в непараметрическом случае; б – нулевая гипотеза: истинная площадь = 0,5.

Площадь под ROC-кривой (AUC) составила 0,93, что указывает на прогнозирование отличного качества (табл. 3).

Таким образом, методика расчета риска окклюзионных поражений ретинальных вен при геомагнитных возмущениях у пациентов с артериальной гипертензией представляет высокоеэффективный алгоритм и рекомендуется для практического применения в офтальмологической клинике.

Конфликт интересов: автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источники финансирования: авторы заявляет о финансировании проведенного исследования из собственных средств.

Литература / References

1. Танковский В.Э. Тромбозы вен сетчатки. М.: Медицина, 2000. 263 с. [Tankovskii VE. Retinal vein thrombosis. Moscow: Meditsina, 2000. 263 p. (In Russ.)].
2. Evans K, Wishart PK, McGalliard JN. Neovascular complications after central retinal vein occlusion. *Eye*. 1993;7(4):520–4. doi: 10.1038/eye.1993.113
3. Quinlan PM, Elman MJ, Bhatt AK, Mardesich P, Enger C. The natural course of central retinal vein occlusion. *Am J Ophthalmol*. 1990;110(2):118–23. doi: 10.1016/s0002-9394(14)76979-x
4. Hayreh SS, Zimmerman B, McCarthy MJ, Podhajsky P. Systemic diseases associated with various types of retinal vein occlusion. *Am J Ophthalmol*. 2001;131(1):61–77. doi: 10.1016/s0002-9394(00)00709-1
5. Марченко Т.К. Влияние гелиогеофизических и метеорологических факторов на организм человека. *Физиология человека*. 1998;(2):122–7. [Marchenko TK. Influence of heliogeophysical and meteorological factors on the human body. *Fiziologiya Cheloveka*. 1998;(2):122–7 (In Russ.)].
6. Помыткина Н.В., Егоров В.В., Сорокин Е.Л. Влияние геомагнитных возмущений на микроциркуляцию глаза у пациентов с тромбозами ретинальных вен. *Офтальмохирургия*. 2010;(5):42–6. [Pomytkina NV, Egorov VV, Sorokin EL. The influence of geomagnetic disturbances to the state of eye microcirculation at patients with retinal vein occlusion. *Feodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2010;(5):42–6 (In Russ.)].
7. Егоров В.В., Егорова А.В., Смолякова Г.П., Сорокин Е.Л. Клинико-морфометрические особенности изменений макулы у больных сахарным диабетом после факоэмультсионной катаракты // *Вестник офтальмологии*. 2008. Т. 124, № 4. С. 22–5. [Egorov VV, Egorova AV, Smolyakova GP, Sorokin YeL. Clinical and morphometric macular changes in patients with diabetes mellitus after cataract phacoemulsification. *Russian Annals of Ophthalmology*. 2008;124(4): 22–5 (In Russ.)].
8. Помыткина Н.В., Егоров В.В., Сорокин Е.Л. Исследование адаптивных возможностей системы микроциркуляции глаза у пациентов с тромбозами ретинальных вен при геомагнитных возмущениях. *Вестник ОГУ*. 2010;(12):194–8. [Pomytkina NV, Egorov VV, Sorokin EL. The examination of adaptive possibilities of eye microcirculation system in patients with retinal vein occlusion in case of geomagnetic disturbances. *Vestnik of the Orenburg State University*. 2010;(12):194–8 (In Russ.)].
9. Помыткина Н.В., Сорокин Е.Л. Влияние геомагнитной обстановки на микроциркуляцию глаза при тромбозах ретинальных вен. *Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Биология, клиническая медицина*. 2012;10(5):130–4. [Pomytkina NV, Sorokin EL. Geomagnetic activity influence on the eye microcirculation at the retinal vein occlusion. *Vestnik Novosibirsk State University. Series: Biology and Clinical Medicine*. 2012;10(5):130–4 (In Russ.)].
10. Помыткина Н.В., Егоров В.В., Сорокин Е.Л. Влияние геомагнитных возмущений на возникновение тромбозов ретинальных вен у пациентов с гипертонической болезнью. Хабаровск, 2015. 107 с. [Pomytkina NV, Egorov VV, Sorokin EL. Effect of geomagnetic disturbances on the occurrence of retinal vein thrombosis in patients with essential hypertension. Khabarovsk, 2015. 107 p. (In Russ.)].
11. Помыткина Н.В., Сорокин Е.Л., Егоров В.В. Исследование микроциркуляции глаза у пациентов с гипертонической болезнью для выявления риска острых сосудистых катастроф в глазу. *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2011;(6):71–3. [Pomytkina NV, Sorokin EL, Egorov VV. Research of microcirculation of an eye in patients with an idiopathic hypertension for revealing of acute vascular accidents risk in an eye. *Bulletin of the East Siberian Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2011;(6):71–3 (In Russ.)].
12. Коленко О.В., Сорокин Е.Л., Егоров В.В. Изучение закономерностей динамики микроморфометрических показателей макулярной сетчатки у беременных женщин при патологической беременности во взаимосвязи со степенью тяжести гестоза. *Кубанский научный медицинский вестник*. 2013;137(2):48–52. [Kolenko OV, Sorokin EL, Egorov VV. Studying of patterns of dynamics of macular retina micro-morphometric indicators in pregnant women at pathological pregnancy in interrelation with gestosis severity. *Kuban Scientific Medical Bulletin*. 2013;137(2):48–52 (In Russ.)].