



<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2024-17-2-7-12>

Спектрофлуориметрический метод исследования пересаженного кожного лоскута на ножке при хирургическом лечении новообразований век

В.В. Гарькавенко¹ ✉, В.В. Салмин², П.М. Балашова^{1, 3}, Е.В. Эпова¹

¹ КГБУЗ «Красноярская краевая офтальмологическая клиническая больница им. проф. П.Г. Макарова», ул. Никитина, д. 1в, Красноярск, 660022, Россия

² Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Каширское ш., д. 31, Москва, 115409, Россия

³ ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава России, ул. П. Железняк, д. 1, Красноярск, 660022, Россия

Цель работы — разработать методику оценки метаболических изменений кожных лоскутов на ножке методом спектрофлуориметрии при хирургическом лечении новообразований век. **Материал и методы.** Четырнадцати пациентам (средний возраст — $74,50 \pm 7,14$ года) было проведено хирургическое лечение новообразований век с замещением дефекта ткани лоскутами на ножке. Площадь поражения век составляла до 90 %. При гистологическом исследовании в 100 % случаев определялась базальноклеточная карцинома. Оценка метаболических изменений кожи в пересаженном лоскуте, а также в симметричной зоне парного глаза проводилась с помощью спектрофлуориметрии на 3-и сутки и через 3 мес после операции. С каждого участка снимался ряд последовательных спектров флуориметрических показателей, после чего вычислялись средние значения показателя метаболического сдвига. **Результаты.** Выявлены различия спектрофлуориметрических показателей метаболического сдвига участка с пересаженным лоскутом и симметричного участка парного глаза на 3-и сутки ($p = 0,00058$) и через 3 мес после операции ($p = 0,0317$). Полученные результаты свидетельствуют о частичном сохранении гипоксического состояния кожных покровов на 3-и послеоперационные сутки и полном восстановлении трофики спустя 3 мес после хирургического лечения ($p = 0,043$), а также о развитии рубцовых изменений пересаженного лоскута к этому сроку наблюдения. **Заключение.** Разработана методика оценки метаболических изменений кожи век, позволившая определить значения нормальных спектрофлуориметрических показателей в этой области, а также выявить изменения показателей метаболического сдвига в пересаженных лоскутах на ножке в ранние послеоперационные сроки и на протяжении всего периода исследования. Спустя 3 мес после хирургического лечения показатели метаболических изменений в пересаженном лоскуте на ножке приближаются к нормальным значениям.

Ключевые слова: спектрофлуориметрия; кожа; новообразования век; лоскут на ножке; хирургическое лечение

Конфликт интересов: отсутствует.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Для цитирования: Гарькавенко В.В., Салмин В.В., Балашова П.М., Эпова Е.В. Спектрофлуориметрический метод исследования пересаженного кожного лоскута на ножке при хирургическом лечении новообразований век. Российский офтальмологический журнал. 2024; 17 (2): 7-12. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2024-17-2-7-12>

A spectrofluorimetric method of testing a transplanted pedicle skin flap in eyelid neoplasm surgery

Viktor V. Garkavenko¹ ✉, Vladimir V. Salmin², Polina M. Balashova^{1, 3}, Ekaterina V. Epova¹

¹ P.G. Makarov Krasnoyarsk Regional Ophthalmological Clinical Hospital, 1b, Nikitina St., Krasnoyarsk, 660022, Russia

² National Research Nuclear University (Moscow Engineering Physics Institute), 31, Kashirskoye Hgwy, Moscow, 115409, Russia

³ V.F. Voyno-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University, 1, Partizan Zheleznayak St., Krasnoyarsk, 660022, Russia
victor-unique@yandex.ru

Purpose: to develop a method for assessing metabolic changes in pedicle skin flaps using spectrofluorimetry in eyelid neoplasm surgery. **Material and methods.** 14 patients (mean age 74.50 ± 7.14 years) were operated for eyelid neoplasms with tissue defects replaced by pedicle flaps. The area of eyelid lesion achieved 90 %. In 100 % of cases, a histological examination revealed basal cell carcinoma. Metabolic changes of the skin in the transplanted flap and in the symmetrical area of the fellow eye were assessed using the spectrofluorimetric method 3 days and 3 months after the surgery. A number of successive spectra of fluorimetric parameters were taken from each site, whereupon the mean values of the Metabolic Shift Index were calculated. **Results.** Differences in the spectrofluorimetric parameters of the metabolic shift between the area with the transplanted flap and the symmetrical area were revealed on the third day after surgery ($p = 0.00058$) and 3 months after it ($p = 0.0317$). The obtained results indicate a partial preservation of the hypoxic state of the skin on the third postoperative day and the complete restoration of trophism 3 months after the surgery ($p = 0.043$), as well as the onset of scarring of the transplanted flap by the latter time point. **Conclusion.** A technique for assessing metabolic changes in eyelid skin has been developed, which enabled the establishment of normal spectrofluorimetric values in this area and helped reveal the changes in the indices of metabolic shift in the transplanted pedicle flaps in the early postoperative periods and throughout the entire follow-up period. 3 months after the surgical treatment, the indices of metabolic changes in the transplanted pedicle flap come close to normal values.

Keywords: spectrofluorimetry; skin; neoplasms of the eyelids; pedicle flap; surgery

Conflicts of interest: there is no conflict of interests.

Financial disclosure: the authors have no financial or property interest in any material or method mentioned.

For citation: Garkavenko V.V., Salmin V.V., Balashova P.M., Epova E.V. A spectrofluorimetric method of testing a transplanted pedicle skin flap in eyelid neoplasms surgery. Russian ophthalmological journal. 2024; 17 (2): 7-12 (In Russ.).
<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2024-17-2-7-12>

По данным Всемирной организации здравоохранения, в 2020 г. заболеваемость раком кожи лидировала среди других видов рака (1,2 млн случаев). Злокачественные новообразования кожи век являются одними из наиболее распространенных опухолей, в связи с чем представляют собой важную медико-социальную проблему [1]. Злокачественные опухоли придаточного аппарата глаза, наиболее частая патология в офтальмоонкологии, составляют около 75 % среди всех злокачественных новообразований органа зрения. Данный вид опухолей выявляется преимущественно у пациентов старше 60 лет. Чаше поражается кожа век, реже — конъюнктивы. В структуре злокачественных опухолей кожи век превалирует базальноклеточный рак (94,7 %), реже развиваются плоскоклеточный и метатипический рак (4 %), аденокарцинома мейбомиевой железы (0,7 %) и меланома кожи (0,6 %) [2–4].

Несмотря на достижения альтернативных методов лечения новообразований кожи век, таких как брахитерапия и криодеструкция, золотым стандартом является хирургическое удаление. Оперативное лечение злокачественных новообразований век и периорбитальной области в связи со сложным строением защитного аппарата глаза остается

сложной хирургической проблемой [5]. Поздняя диагностика, несвоевременное обращение пациентов за медицинской помощью и неадекватный объем оперативного вмешательства приводят к поражению тканей злокачественной опухолью больших размеров. Запущенные случаи нуждаются не только в применении индивидуальной хирургической тактики, но и в сопутствующей медикаментозной терапии и адекватной реабилитации [6]. Согласно источникам литературы, хирургическое иссечение новообразований кожи требует их удаления в пределах здоровых тканей, с отступом 3 мм от края опухоли, что порой приводит к обширным дефектам периорбитальной зоны. Оперативное лечение новообразований век с замещением дефекта пересаженными кожными лоскутами, как свободными, так и на ножке, требует не только особых интраоперационных подходов [7–9], но и своевременной предоперационной диагностики.

В литературе представлены методы неинвазивной оценки придаточного аппарата глаза, которые используются при травмах век и орбиты, а также при офтальмоонкологических заболеваниях [10–12].

Одной из перспективных методик оценки состояния (гипоксии) кожных покровов глубиной до 2–3 мм на кле-

точном и молекулярном уровне является спектрофлуориметрия.

Данный метод отражает энергетический метаболизм клеток, в основе которого лежит совокупность реакций гликолиза, окисления жирных кислот, активности цикла трикарбоновых кислот и электрон-транспортной цепи митохондрий, обеспечивающая скоординированные с текущими потребностями клетки утилизацию нутриентов, конверсию их в универсальные промежуточные продукты катаболизма (например, ацетил-КоА) и генерацию молекул АТФ [13]. Эти реакции обеспечивают эффективную адаптацию клеток к изменениям внешней среды/микроокружения (например, при гипоксии), взаимодействие клеток, обладающих разными доминирующими процессами генерации энергии (например, гликолитически активные клетки ткани способны поставлять лактат в клетки, преимущественно использующие митохондриальное окислительное фосфорилирование для продукции АТФ), изменение дифференцировочного и пролиферативного статуса клеток (например, по мере дифференцировки большинство клеток приобретают большую зависимость от процессов окислительного фосфорилирования в митохондриях) [14, 15]. Пиридиновые и флавиновые нуклеотиды — NAD(H), FAD(H₂) — являются активными участниками этих реакций, выступая в качестве кофакторов для ферментов гликолиза, окисления жирных кислот и цикла Кребса, а в электрон-транспортной цепи митохондрий они обеспечивают перенос электронов между цитохромами (гемопротеидами) внутренней мембраны митохондрий. При таком анализе следует учитывать наличие молекул, существенно влияющих на параметры аутофлуоресценции ткани, например гемоглобина в окси- и дезоксиформах (HbO, DoxHb) и порфиринов [16].

В литературе описано использование спектрофлуориметрической методики для определения границ опухоли [17]. Для оценки гипоксического состояния кожного лоскута (аутофлуоресценции) нами был использован портативный спектрофлуориметр. Принцип работы — возбуждение флуорофоров ультрафиолетовыми светодиодами длиной волны 375 нм и регистрация спектрофлуоресценции ткани спектрометром, с дальнейшим анализом и интерпретацией результатов при помощи специально разработанного программного обеспечения. В ранее опубликованных работах были описаны особенности устройства, преимущества метода, в том числе его безопасность [18, 19].

ЦЕЛЬ работы — разработать методику оценки метаболических изменений кожных лоскутов на ножке методом спектрофлуориметрии при хирургическом лечении новообразований век.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследовании принимали участие 14 пациентов в возрасте $74,50 \pm 7,14$ года, которым было проведено хирургическое лечение новообразований век. Из сопутствующей патологии у пациентов была диагностирована ишемическая болезнь сердца, гипертоническая болезнь в стадии компенсации. Всем пациентам проведено удаление новообразования век в пределах здоровых тканей с замещением дефекта ткани лоскутами на ножке по запатентованным технологиям [9]. Размер опухоли варьировал от 15 до 45 мм, площадь поражения век составляла до 90 %. По завершении операции пациентам накладывали асептическую повязку. Кожные швы снимали на 6–7-й день. В 100 % случаев при гистологическом исследовании определялась базальноклеточная карцинома.

Спектрофлуориметрическая оценка кожи в пересаженном лоскуте, а также в симметричном участке кожи века парного глаза проводилась на 3-и послеоперационные сутки и через 3 мес после операции. С каждого участка регистрировали 6 последовательных спектров флуориметрических показателей.

Фотографии одной из пациенток до оперативного вмешательства, а также в течение дальнейшего периода наблюдения представлены на рисунке 1.

Регистрация спектров аутофлуоресценции проводилась с помощью малогабаритного экспериментального спектрофлуориметра на базе спектрометра STS VIS (Ocean Optics) при возбуждении ультрафиолетовым светодиодом с пиком на длине волны 375 нм [20]. Мощность возбуждения составила 0,5 мВт. Спектры анализировались в диапазоне длин волн 408–675 нм. Мы использовали binning = 2, соответственно, указанный участок спектра был представлен 142 значениями с шагом примерно в 1,9 нм. Первичные спектры нормировались на среднее значение сигнала отражения светодиода возбуждения от кожи во втором порядке дифракции в интервале длин волн 680–823 нм. Затем проводилось сглаживание спектров скользящим средним с окном 8 нм.

Далее был вычислен средний спектр в группах на симметричных участках через 3 мес наблюдения — $F(\lambda)$;



Рис. 1. Внешний вид пациентки до операции (А), на 3-и сутки (Б) и через 3 мес (В) после нее
Fig. 1. Appearance of the patient before surgery (A), 3 days (B) and 3 months (B) after it

для каждого спектра $F_i(\lambda)$ вычислялись коэффициенты линейной регрессии a_i , b_i методом наименьших квадратов так, чтобы после последующей нормировки указанные спектры были максимально приближены к среднему:

$$F(\lambda) \cong a_i F_i(\lambda) + b_i$$

Затем проводилась нормировка спектров с учетом найденных коэффициентов:

$$f_i(\lambda) = \frac{F_i(\lambda) + b_i}{a_i}$$

Для поиска спектральных критериев, позволяющих количественно отличать участки кожи лоскута и симметричные (интактные) участки, была последовательно использована методика многомерного регрессионного анализа. Для этого группе нормированных спектров, полученных с симметричных участков кожи на 3-й день и через 3 мес наблюдения, приписано значение функции, характеризующей метаболический статус «Показатель метаболического сдвига» = 0, а группе спектров, снятых с кожного лоскута на 3-и сутки после операции — «Показатель метаболического сдвига» = 1. Изменения спектров через 3 мес сравнивали с показателем 1. При первом раунде регрессионного анализа методом Forward stepwise найдена лучшая линейная модель со следующими предикторами S_{427} , S_{442} , S_{456} , S_{458} , S_{462} , S_{468} , S_{528} , S_{566} , S_{635} , где S_λ — интенсивность нормированного спектра на длине волны λ . Редуцирование числа предикторов путем применения настроек «best subset 5» и использование нелинейной модели «polynomial n = 3, factorial n = 3» позволили выявить следующее уравнение регрессии: «Показатель метаболического сдвига» = $13,7302 - 16,9194 \cdot S_{566} - 31,3502 \cdot S_{442} \cdot S_{458} + 20,30791 \cdot S_{442} \cdot S_{462} \cdot S_{468} + 10,9408 \cdot S_{442} \cdot S_{528} \cdot S_{566} - 11,0173 \cdot S_{462} \cdot S_{468} \cdot S_{635}$ с уровнем корреляции $R = 0,94$ при значении F-критерия = 90. Интерпретация найденных предикторов «Показателя метаболического сдвига» в рамках модели «HbO, DoxHb, NADH, FAD, порфирины» следующая: предиктор S_{442} — соответствует связанной с белком форме NADH; S_{458} — соответствует «красной» изобести-

ческой точке полосы Core HbO и DoxHb; S_{462} — соответствует пику поглощения FAD, S_{468} — пику флуоресценции растворенной формы NADH; S_{528} — соответствует «синей» изобестиической точке β -полосы HbO и DoxHb, а также пику флуоресценции FAD; S_{566} — соответствует минимуму между α - и β -полосами HbO; S_{635} — соответствует пику флуоресценции порфиринов. Необходимо отметить, что выявленная зависимость от предиктора S_{635} свидетельствует о влиянии на спектры флуоресценции кожи после перенесенной операции не только параметров гипоксического генеза, но и воспаления, в том числе с фактором разрушения гемопротеидов. С помощью найденного уравнения регрессии рассчитывался «Показатель метаболического сдвига» для каждого полученного спектра. Далее вычислялись средние значения «Показателя метаболического сдвига» для каждого пациента и каждого участка кожи.

Статистический анализ результатов проведен на персональном компьютере при помощи Microsoft Office Excel 2010 и пакета прикладных программ Statistica v. 13.0 StatSoft Inc. (США). Полученные данные проанализированы методами непараметрической статистики, с помощью критерия Манна — Уитни. Для пациентов с повторными измерениями также оценивалась значимость различий двухвыборочным критерием Уилкоксона.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Выявлены различия спектрофлуориметрических показателей, а в частности, показателя метаболического сдвига на уровне статистической значимости. Разница медиан между симметричным участком кожи и участком с пересаженным лоскутом на 3-и сутки после операции составила 0,9577, $p = 0,00058$ (рис. 2). В то же время через 3 мес после операции значимость различий между спектрофлуориметрическими показателями метаболического сдвига в области пересаженного лоскута и симметричного участка на парном глазу составила всего 0,1574 ($p = 0,0317$). Соответствующие медианные значения и межквартильный размах представлены на рисунке 3.

При сравнении показателей метаболического сдвига кожи в области пересаженного лоскута на 3-и сутки и че-

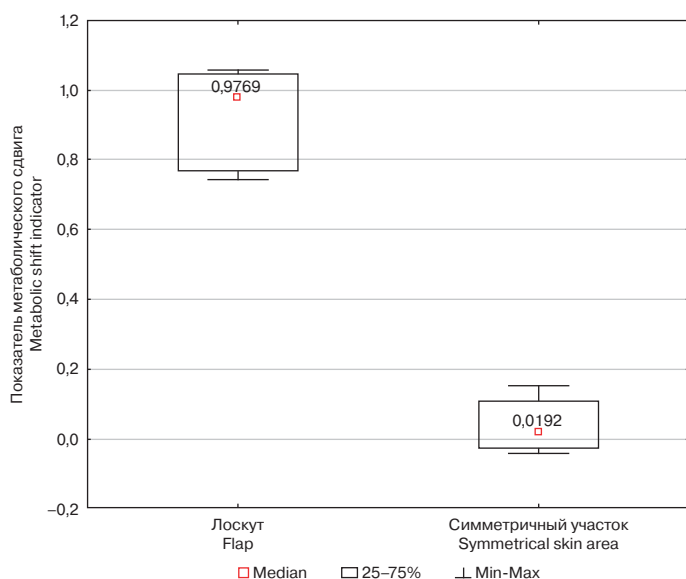


Рис. 2. Показатель метаболического сдвига на 3-й день после операции

Fig. 2. Metabolic shift index 3 days after surgery

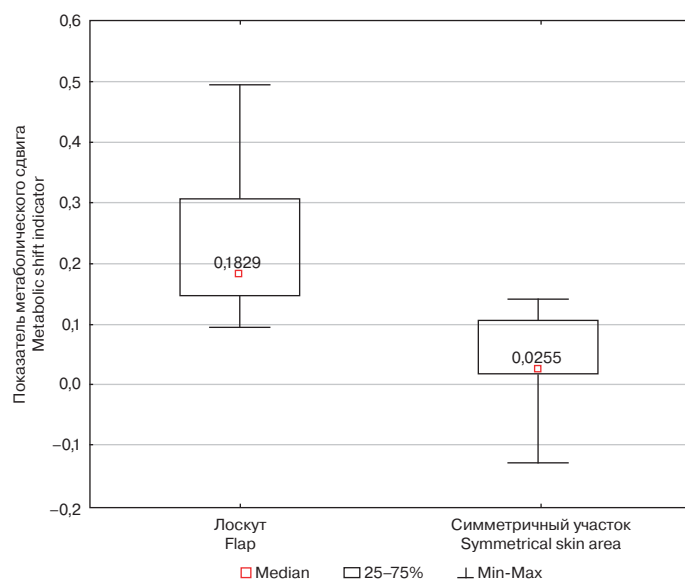


Рис. 3. Показатель метаболического сдвига через 3 мес после операции

Fig. 3. Metabolic shift indicator 3 months after surgery

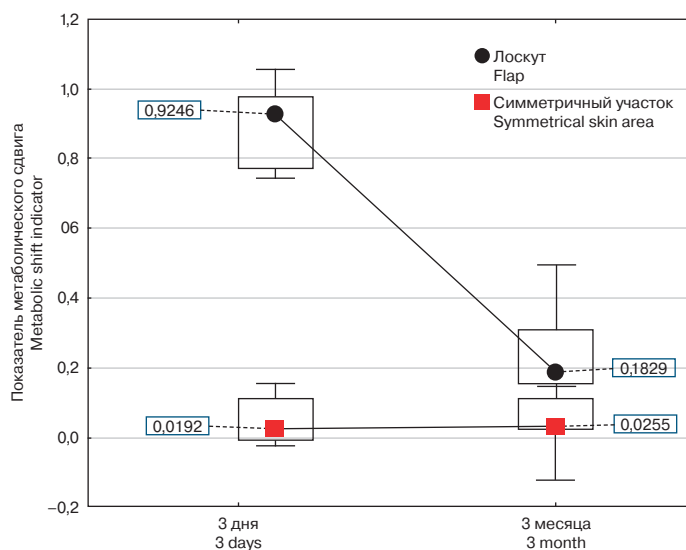


Рис. 4. Динамика показателя метаболического сдвига
Fig. 4. Dynamics of metabolic shift indicator

рез 3 мес после операции также выявлены статистические значимые различия ($p = 0,043$), которые свидетельствуют о частичном сохранении гипоксического состояния кожных покровов на 3-и послеоперационные сутки и полном восстановлении трофики спустя 3 мес после пересадки кожного лоскута на ножке. Однако тот факт, что полученные данные разнились, свидетельствует о присутствующих рубцовых изменениях в пересаженном лоскуте спустя 3 мес (рис. 4).

Значимых различий в показателях метаболического сдвига контрольных участков кожи не наблюдали, что свидетельствует о стабильном состоянии кожных покровов на протяжении всего периода наблюдения. Эти параметры мы приняли за показатели нормальных значений кожи век (рис. 4). Данные значимо не различались ($p = 0,5$).

Полученные результаты позволяют объективно оценить на молекулярном уровне метаболические нарушения кожного лоскута в ранние сроки после операции. Так, нарушение продукции АТФ в митохондриях, связанное с невозможностью эффективной работы дыхательной цепи (например, при гипоксии), приводит к возникновению редуцированного стресса с последующим развитием феномена утечки электронов и генерацией активных форм кислорода (окислительный стресс) [21]. Нарушения редокс-состояния клетки сопровождаются значимыми изменениями отношения восстановленных и окисленных форм пиридиновых и флавиновых нуклеотидов, что дает возможность использовать регистрацию флуоресценции этих эндогенных флуорофоров в качестве надежных индикаторов редокс-статуса и энергетического метаболизма клеток различной природы [22, 23]. Все это позволяет вовремя назначить адекватное лечение и достигнуть не только максимального функционального, но и косметического результата операции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана методика оценки метаболических нарушений состояния кожи век. Выявлены нормальные значения спектрофлуориметрических показателей (в частности, уровня NADH, FAD, оксигемоглобина, а также порфиринов) в кожных покровах периорбитальной области, обладающей богатым кровоснабжением. На основании анализа комплекса изменений кожных покровов на молекулярном уровне по-

лучен показатель метаболического сдвига. Выявлены изменения этих показателей в пересаженных лоскутах на ножке через 3 дня (в раннем послеоперационном периоде) и через 3 мес после хирургического лечения. На этом сроке показатели близки к нормальным значениям, что свидетельствует о восстановлении метаболизма в кожном лоскуте через 3 мес после операции, благодаря развитию коллатералей и формированию микрососудистого русла.

Литература/References

- Bakhshullaevich CS, Sadriddinovich IZ. A differentiated approach to the choice of reconstructive plastic surgery for malignant tumors of the eyelid. *International Scientific Research Journal*. 2022; 3 (7): 603–14. doi: 10.17605/OSF.IO/JEM6T
- Бровкина А.Ф., Панова И.Е., Саакян С.В. Офтальмоонкология: новое за последние два десятилетия. *Вестник офтальмологии*. 2014; 130 (6): 13–9. [Brovkina A.F., Panova I.E., Saakyan S.V. Ophthalmooncology: new over the past two decades. *Vestnik oftal'mologii*. 2014; 130 (6): 13–9 (In Russ.).]
- Brodowski R, Pakla P, Dymek M, et al. Observations on surgical reconstructive management following the excision of malignant neoplasms of the eyelid and periorcular area. *Advances in Clinical and Experimental Medicine*. 2019; 28 (4): 535–9. doi: 10.17219/acem/90770
- Саакян С.В., Харлампиди М.П., Мякошина Е.Б., Тацков Р.А., Гусев Г.А. Радиохирургическое лечение доброкачественных опухолей век малых размеров. *Сибирский научный медицинский журнал*. 2019; 39 (4): 127–36. [Saakyan S.V., Kharlampidi M.P., Myakoshina E.B., Tatskov R.A., Gusev G.A. Radiosurgical treatment of benign eyelid tumors of small sizes. *Siberian scientific medical journal*. 2019; 39 (4): 127–36 (In Russ.).] doi: 10.15372/SSMJ20190416
- Wang L, Shan Y, Dai X, et al. Clinicopathological analysis of 5146 eyelid tumors and tumor-like lesions in an eye center in South China, 2000–2018: a retrospective cohort study. *BMJ Open*. 2021; 11 (1): e041854. doi: 10.1136/bmjopen-2020-041854
- Бровкина А.Ф. Офтальмоонкология: руководство для врачей. Москва: Медицина; 2002. [Brovkina A.F. Ophthalmic oncology: guidelines for doctors. Moscow: Meditsina; 2002 (In Russ.).]
- Лихванцева В.Г. Опухоли век: клиника, диагностика, лечение. Москва: ГЭОТАР-Медиа; 2007. [Likhvantseva V.G. Tumors of the eyelids: clinical picture, diagnosis, treatment. Moscow: GEOTAR-Media; 2007 (In Russ.).]
- Мулдашев Э.Р., Салихов А.Ю., Галимова В.У. и др. Хирургическое лечение обширных злокачественных новообразований нижних век. *Сибирское медицинское обозрение*. 2006; 42 (5): 15–7. [Muldashev E.R., Salikhov A.Yu., Galimova V.U., et al. Surgical treatment of extensive malignant neoplasms of the lower eyelids. *Siberian Medical Review*. 2006; 42 (5): 15–7 (In Russ.).]
- Лазаренко В.И., Полежаева Н.С., Гарькавенко В.В. и др. Новообразования век: совершенствование тактики и способов органосохранного лечения. Красноярск: Амагма; 2015. [Lazarenko V.I., Polezhaeva N.S., Gar'kavenko V.V., et al. Neoplasms of the eyelids: improvement of tactics and methods of organ-preserving treatment. Krasnoyarsk: Amalgam; 2015 (In Russ.).]
- Филатова И.А., Киселева Т.Н., Луговкина К.В., Гусева Н.В., Павленко Ю.А. Акустические характеристики посттравматических рубцов тканей века. *Российский офтальмологический журнал*. 2022; 15 (2): 130–4. [Filatova I.A., Kiseleva T.N., Lugovkina K.V., Guseva N.V., Pavlenko Yu.A. Acoustic characteristics of post-traumatic scars of eyelid tissues. *Russian ophthalmological journal*. 2022; 15 (2): 130–4 (In Russ.).] doi: 10.21516/2072-0076-2022-15-2-130-134
- Филатова И.А., Романова И.А. Возможность прогнозирования риска отторжения свободного полнослойного кожного аутографта при реконструкции века. *Российский офтальмологический журнал*. 2011; 4 (4): 71–5. [Filatova I.A., Romanova I.A. Possibility of predicting the risk of rejection of a free full-layer skin autograft during eyelid reconstruction. *Russian ophthalmological journal*. 2011; 4 (4): 71–5 (In Russ.).]
- Киселева Т.Н., Котелин В.И., Лосанова О.А., Луговкина К.В. Неинвазивные методы оценки гемодинамики переднего сегмента глаза: перспективы применения в клинической практике. *Офтальмология*. 2017; 14 (4): 283–90. [Kiseleva T.N., Kotelin V.I., Losanova O.A., Lugovkina K.V. Non-invasive methods for assessing the hemodynamics of the anterior segment of the eye: prospects for application in clinical practice. *Ophthalmology*. 2017; 14 (4): 283–90 (In Russ.).] doi.org/10.18008/1816-5095-2017-4-283-290
- Rigoulet M, Bouchez CL, Paumard P, et al. Cell energy metabolism: An update. *Biochim Biophys Acta Bioenerg*. 2020; 1861 (11): 148276. doi: 10.1016/j.bbabi.2020.148276
- Salmina AB, Gorina YV, Komleva YK, et al. Early life stress and metabolic plasticity of brain cells: Impact on neurogenesis and angiogenesis. *Biomedicine*. 2021; 9 (9): 1092. doi: 10.3390/biomedicine9091092

15. Kamel K, O'Brien CJ, Zhdanov AV, et al. Reduced oxidative phosphorylation and increased glycolysis in human glaucoma lamina cribrosa cells. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2020; 61 (13): 4. doi: 10.1167/iovs.61.13.4
16. Салмина А.Б., Салмин В.В., Фролова О.В. и др. Лазериндуцированная аутофлуоресценция для оценки метаболизма и гемодинамики головного мозга. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2011; 5 (3): 32–9. [Salmina A.B., Salmin V.V., Frolova O.V., et al. Laser-induced autofluorescence for assessing brain metabolism and hemodynamics. *Annals of clinical and experimental neurology*. 2011; 5 (3): 32–9 (In Russ.)].
17. Бочкарева А.Н., Егоров В.В., Смолякова Г.П., Банщикова П.А. Повышение эффективности хирургического лечения злокачественных новообразований век эпителиального происхождения при использовании метода аутофлуоресценции. *Саратовский научно-медицинский журнал*. 2020; 16 (2): 587–91. [Bochkareva A.N., Egorov V.V., Smolyakova G.P., Banchchikov P.A. Improving the efficiency of surgical treatment of malignant neoplasms of the eyelids of epithelial origin using the autofluorescence method. *Saratov scientific medical journal*. 2020; 16 (2): 587–91 (In Russ.)].
18. Нероев В.В., Гарькавенко В.В., Салмин В.В. Спектрофлуориметрическое исследование зоны лимба у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой. *Российский офтальмологический журнал*. 2021; 14 (4): 60–4. [Neroev V.V., Garkavenko V.V., Salmin V.V. Spectrofluorimetric study of the limbus zone in patients with primary open-angle glaucoma. *Russian ophthalmological journal*. 2021; 14 (4): 60–4 (In Russ.)]. doi.org/10.21516/2072-0076-2021-14-4-60-64
19. Нероев В.В., Гарькавенко В.В., Шапиро Л.А., Салмин В.В. Оценка состояния электрогенеза сетчатки при ультрафиолетовом спектрофлуориметрическом исследовании глаза. *Российский офтальмологический журнал*. 2020; 13 (2): 41–4. [Neroev V.V., Garkavenko V.V., Shapiro L.A., Salmin V.V. Evaluation of the state of retinal electrogenesis during ultraviolet spectrofluorimetric examination of the eye. *Russian ophthalmological journal*. 2020; 13 (2): 41–4 (In Russ.)]. doi.org/10.21516/2072-0076-2020-13-2-41-44
20. Salmin V., Gar'kavenko V., Levchenko J., et al. UVA-induced autofluorescence spectroscopy in ophthalmology. In: Asia Communications and Photonics Conference 2014. OSA Technical Digest (online). Optica Publishing Group; 2014, paper ATTh3A.203
21. Zhao RZ, Jiang S, Zhang L, et al. Mitochondrial electron transport chain, ROS generation and uncoupling (Review). *Int J Mol Med*. 2019; 44 (1): 3–15. doi: 10.3892/ijmm.2019.4188
22. Heikal AA. Intracellular coenzymes as natural biomarkers for metabolic activities and mitochondrial anomalies. *Biomark Med*. 2010; 4 (2): 241–63. doi: 10.2217/bmm.10.1
23. Kolenc OI, Quinn KP. Evaluating cell metabolism through autofluorescence imaging of NAD(P)H and FAD. *Antioxid Redox Signal*. 2019; 30 (6): 875–89. doi: 10.1089/ars.2017.7451

Вклад авторов в работу: В.В. Гарькавенко — разработка концепции и дизайна исследования, сбор и обработка данных, написание статьи; В.В. Салмин — статистическая обработка данных, написание статьи, П.М. Балашова — редактирование статьи, подготовка к публикации; Е.В. Эпова — лечение пациентов.

Author's contribution: V.V. Garkavenko — development of the concept and design of the study, data collection and processing, writing of the article; V.V. Salmin — data processing and analysis, writing of the article; P.M. Balashova — editing of the article, preparing for publication; E.V. Epova — treating patients

Поступила: 28.03.2023. Переработана: 18.05.2023. Принята к печати: 21.05.2023

Originally received: 28.03.2023. Final revision: 18.05.2023. Accepted: 21.05.2023

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

¹ КГБУЗ «Красноярская краевая офтальмологическая клиническая больница им. проф. П.Г. Макарова», ул. Никитина, д. 1в, Красноярск, 660022, Россия

² Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Каширское ш., д. 31, Москва, 115409, Россия

³ ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава России, ул. П. Железняк, д. 1, Красноярск, 660022, Россия

Виктор Валерьевич Гарькавенко — канд. мед. наук, заведующий отделением¹, ORCID 0000-0003-1982-1768

Владимир Валерьевич Салмин — д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры лазерных микро-, нано- и биотехнологий², ORCID 0000-0003-4441-9025

Полина Михайловна Балашова — врач-офтальмолог¹, ассистент кафедры офтальмологии им. проф. М.А. Дмитриева с курсом постдипломного образования³, ORCID 0000-0002-8927-3907

Екатерина Викторовна Эпова — врач-офтальмолог¹, ORCID 0009-0004-9405-5674

Для контактов: Виктор Валерьевич Гарькавенко, victor-unique@yandex.ru

¹ P.G. Makarov Krasnoyarsk Regional Ophthalmological Clinical Hospital, 1b, Nikitina St., Krasnoyarsk, 660022, Russia

² National Research Nuclear University (Moscow Engineering Physics Institute), 31, Kashirskoye Hgwy, Moscow, 115409, Russia

³ Professor V.F. Voyno-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University, 1, Partizan Zheleznyak St., Krasnoyarsk, 660022, Russia

Victor V. Garkavenko — Cand. of Med. Sci., head of the department¹, ORCID 0000-0003-1982-1768

Vladimir V. Salmin — Dr. of Phys-Math. Sci., professor of chair of laser micro-nano and biotechnologies², ORCID 0000-0003-4441-9025

Polina M. Balashova — ophthalmologist¹, assistant of chair of ophthalmology named after professor M.A. Dmitriev³, ORCID 0000-0002-8927-3907

Ekaterina V. Epova — ophthalmologist¹, ORCID 0009-0004-9405-5674

For contacts: Viktor V. Garkavenko, victor-unique@yandex.ru