УДК 612.8.04

ОЦЕНКА ГАНГЛИОЗНЫХ КЛЕТОК СЕТЧАТКИ КАК БИОМАРКЕРА ХРОНИЧЕСКОГО СТРЕССА У ЛЕТЧИКОВ ВЫСОКОМАНЕВРЕННОЙ АВИАЦИИ

Подъянов Д.А., Грачева М.А., Конева Д.А., Семенова А.В., Носовский А.М., Манько О.М., Бубеев Ю.А.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

E-mail: podyanov75@mail.ru

Проведено исследование ганглиозных клеток сетчатки как возможного биомаркера хронического стресса у летчиков высокоманевренной авиации. Обследовано 120 летчиков в возрастном диапазоне 24–45 лет, общий налет которых составлял от 52 до 1600 ч. Контрольную группу составили 79 мужчин в возрасте от 24 до 45 лет, профессиональная деятельность которых не связана с экстремальными видами труда.

Степень выраженности хронического стресса оценивали в основной группе (у летчиков) по биохимическим маркерам – СОЭ, общий холестерин, липопротеиды высокой плотности (ЛПВП) и липопротеиды низкой плотности (ЛПНП), лейкоцитарному индексу стрессоустойчивости Гаркави (ИГ).

У всех испытуемых была выполнена оптическая когерентная томография глаза (ОКТ) с помощью прибора RTVue-100 (Optovue, США). Проведен анализ результатов ОКТ по протоколам сканирования сетчатки ONH (оценка головки зрительного нерва), 3D Disc (оценка диска зрительного нерва), GCC (ganglion cell complex — комплекс ганглиозных клеток сетчатки) в корреляции с биохимическими маркерами хронического стресса.

ОКТ сетчатки у летчиков высокоманевренной авиации впервые выявила структурные изменения (повышенный уровень глобальных потерь ганглиозных клеток сетчатки, GLV%), отражающие индивидуальные особенности адаптации центральной нервной системы к экстремальным факторам летной нагрузки. Потери GLV% не коррелировали с биохимическим статусом, но достоверно значимо зависели от летного стажа, «тренированности» летчика.

Ключевые слова: летчики высокоманевренной авиации, хронический стресс, оптическая когерентная томография сетчатки, ганглиозные клетки сетчатки.

Авиакосмическая и экологическая медицина. 2026. Т. 60. № 2. С. 49–56.

DOI: 10.21687/0233-528X-2026-60-2-49-56

Современное развитие авиации характеризуется появлением авиационных комплексов 5-го поколения, обладающих повышенной маневренностью и скоростью. В условиях нагрузок сверх ускорений от летчика требуется высокий уровень стрессоустойчивости. Длительная продолжительность напряженной, интенсивной летной работы, отсутствие условий для полноценного восстановления функционального состояния снижают психофизиологические резервы и приводят к возникновению хронического стресса. Хронический стресс выступает превалирующим вредным фактором производственной среды лиц опасных профессий и является причиной развития функциональных и органических соматических расстройств [1].

Профессиональное здоровье – способность организма сохранять компенсаторные и защитные свойства, обеспечивающие профессиональную надежность и работоспособность во всех условиях трудовой деятельности [2]. Из этого следует, что не отсутствие болезни, а психофизиологические резервы выступают истинным потенциалом высокой надежности летчика, а значит, и безопасности полетов [3].

В настоящее время в целях совершенствования врачебной экспертизы необходим индивидуальный подход к оценке стрессоустойчивости, определяющей психофизиологические резервы и риск развития психосоматических расстройств. Поиск новых биомаркеров преморбидных состояний, провоцирующих развитие психосоматических расстройств, становится одной из главных задач экстремальной медицины [4]. Причем летная нагрузка должна быть лишь ориентиром для выделения из летного состава лиц с высокой вероятностью развития психосоматической патологии [5, 6]. Такой подход, в свою очередь, будет способствовать сохранению и продлению профессионального здоровья летного состава [7].

Изучение патологических механизмов стресса является одной из важных задач в фундаментальной и клинической нейробиологии. Доказано влияние стресса на развитие нейродегенеративных заболеваний ЦНС, депрессию, посттравматический синдром [8, 9]. В последние десятилетия изучаются взаимосвязь ретинокортикального и кортикоретинального нейронных путей, связанных во многом единой медиаторной системой. Имеющиеся к настоящему времени работы выявили высокую

диагностическую ценность методов нейровизуализации сетчатки с оценкой комплекса ганглиозных клеток в оценке преморбидного состояния нейродегенеративных заболеваний ЦНС и зрительного нерва [10–15]. Немногочисленные пока работы по изучению сетчатки как биомаркера хронического стресса выявили достоверно значимые изменения в структуре ганглиозных клеток сетчатки, выраженность которых определялась уровнем стрессоустойчивости [9, 16].

Развитие современных медицинских технологий, а именно появление оптической когерентной томографии (ОКТ) глаза, позволило изучать не только морфологическое состояние сетчатки при глазных болезнях, но и взаимосвязь структуры сетчатки и функционального состояния ЦНС. ОКТ – неинвазивный метод исследования, с привлечением которого получают изображение поперечного среза сетчатки. Картина поперечного среза формируется путем автоматического объединения множества осевых изображений (А-сканов). Качество изображения зависит от скорости сканирования и разрешения А-сканов. Современные ОКТ-приборы обладают скоростью съемки 20 000–52 000 сканов в секунду и более с разрешением 1–4 мкм.

Высокая повторяемость результатов исследований одного пациента, высокий индекс согласия специалистов (индекс Карра) при оценке полученных данных делают ОКТ ценным методом для мультицентровых исследований [17]. Такая особенность поражения сетчатки при нейродегенеративных заболеваниях, как преобладание диффузных изменений над локальными, определяет характер заключения по результатам исследования методом ОКТ: основное внимание уделяется не качественному описанию оптических феноменов, а количественной оценке толщины и объема сетчатки. В связи с этим наиболее часто используют стандартные протоколы исследования, где автоматически определяются такие количественные показатели, как толщина слоя ганглиозных клеток сетчатки, толщина слоя нервных волокон сетчатки, представленного аксонами ганглиозных клеток, общий макулярный объем (общий объем ткани сетчатки в области желтого пятна в пределах круга, заданного определенным диаметром). Специфические изменения клеточного объема сетчатки, собственно изменение архитектоники сетчатки, апоптоз ганглиозных клеток являются биомаркерами и предикторами многих нейродегенеративных заболеваний [10–18].

Гипотезой представленного исследования явилось предположение о возможности рассмотрения сетчатки как биомаркера хронического стресса у летчиков высокоманевренной авиации.

Цель исследования – характеристика комплекса ганглиозных клеток сетчатки у летчиков высокоманевренной авиации и оценка корреляции данных морфометрических исследований с биохимическими маркерами хронического стресса.

Методика

В эксперименте приняли участие 120 летчиков в возрастном диапазоне 24–45 лет, общий налет достигал от 52 до 1600 ч. Они составили основную группу.

Контрольную группу составили мужчины в возрасте от 24 до 45 лет, профессиональная деятельность которых не связана с экстремальными видами труда.

Все испытуемые подписали Добровольное информированное согласие на участие в исследовании в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека в качестве испытуемого». Проведение исследования одобрено локальным Этическим комитетом ФГБУ «ГВКГ им. Н.Н. Бурденко» (протокол № 26 от 26.04.2022 г.).

Основная и контрольная группы были разбиты на 3 возрастные подгруппы (табл. 1).

Испытуемые основной группы были подразделены по летной нагрузке: до 40 ч в год, 40–60 ч в год и свыше 60 ч в год. Такое ранжирование обусловлено действующим нормативом летной нагрузки – 60 ч в год (табл. 2).

Нами были выделены еще 3 подгруппы по общему налету, который не совпадал с возрастом пилота (табл. 3).

Биохимические маркеры стресса

В работе оценивали биохимические маркеры хронического стресса крови – из результатов общеклинического и биохимического анализов крови, предусмотренных врачебно-летной комиссией: СОЭ, общий холестерин, липопротеиды высокой и низкой плотности (ЛПВП и ЛПНП), лейкоцитарный индекс стрессоустойчивости Гаркави (ИГ).

ИГ рассчитывали по стандартной методике: ИГ = лимфоциты (%)/сегментоядерные нейтрофилы (%), где значение ИГ, равное 0,4 ± 0,1, – высокая сопротивляемость организма на стресс, значения 0,29 и ниже – сниженные адаптивные возможности организма, значения от 0,51 и выше – чрезмерная, гиперэргическая стрессовая реакция организма.

Оптическая когерентная томография сетчатки

Всем испытуемым, кроме стандартного офтальмологического обследования, проводили ОКТ посредством томографа RTVue-100 OCT (Optovue, США).

Для оценки состояния ганглиозных клеток сетчатки был проведен анализ результатов ОКТ по протоколам сканирования сетчатки ONH (оценка

Таблица 1

Возрастной состав основной и контрольной групп

Возраст, лет	Основная группа (n = 120)	Контрольная группа (n = 79)
24–29	38	25
30 –39	53	34
40 –45	29	20

Таблица 2

Возрастной состав основной группы по летной нагрузке в год

Летная нагрузка в год, ч	Основная группа (n = 120)	
	До 30 лет	Старше 30 лет
До 40	18	15
До 60	13	37
Свыше 60	7	30

Таблица 3

Общий налет в часах в основной группе испытуемых

Общий налет, ч	Количество летчиков
До 300	24
От 300 до 1000	61
Свыше 1000	35

головки зрительного нерва), 3D Disc (оценка диска зрительного нерва), GCC (комплекс ганглиозных клеток сетчатки) для каждого глаза. Всего 720 протоколов сканирования.

При сканировании макулярной зоны сетчатки по протоколу GCC производится 14 994 измерения за 0,58 с на 16 линейных направлениях в зоне размером 7 × 7 мм, центрированной на расстоянии 1 мм темпорально от центральной ямки (т.е. в области максимальной концентрации ганглиозных клеток). В протоколах исследования вычисляется толщина слоя комплекса ганглиозных клеток (общая, в верхнем и нижнем сегментах), включая индекс фокальной (FLV%) и глобальной потери (GLV%) ганглиозных клеток сетчатки.

В работе представлены статистически значимые результаты – результаты GLV%.

Для детализированного сравнительного анализа GLV% было осуществлено ранжирование значения GLV% в диапазоне от 0,01 до ≥ 2,9 с шагом, кратным 10, в выделенных возрастных подгруппах основной и контрольной групп.

В основной группе проведен анализ результатов GLV% в подгруппах по летному стажу: до 300 ч, от 300 до 1000 ч, свыше 1000 ч.

Статистическую обработку данных проводили с использованием языка Python и его библиотек (Pandas, SciPy, StatsModels). Оценку нормальности распределения количественных показателей во всех исследуемых выборках выполнили посредством теста Шапиро – Уилка. В соответствии с результатами проверки нормальности распределения был выбран соответствующий статистический инструментарий. Для данных, распределение которых не отличалось от нормального ($p \geq 0,05$), применяли методы параметрической статистики. Для данных, распределение которых отличалось от нормального ($p < 0,05$), задействовали методы непараметрической статистики.

Для сопоставления 2 независимых групп использовали t-критерий Стьюдента для независимых выборок (параметрический) или U-критерий Манна – Уитни (непараметрический). Для сравнения 3 и более независимых групп применяли однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) для параметрических данных или критерий Краскела – Уоллиса для непараметрических данных. При выявлении статистически значимых межгрупповых различий проводили апостериорный анализ с привлечением поправки Тьюки для ANOVA или поправки Данна для критерия Краскела-Уоллиса. Межгрупповые различия оценивали путем однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с последующим попарным сравнением t-критерием Стьюдента для независимых выборок с поправкой Бонферрони на множественные сравнения. Для оценки корреляционных связей между количественными показателями вычисляли коэффициент корреляции Пирсона (для параметрических данных). Статистически значимыми считали различия и корреляции при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Анализ биохимических маркеров хронического стресса крови не выявил достоверно значимых отличий по таким параметрам, как СОЭ, общий холестерин, ЛПВП и ЛПНП в подгруппах испытуемых. Значения этих показателей соответствовали возрастной норме.

У всех испытуемых основной группы был выявлен повышенный лейкоцитарный индекс стрессоустойчивости Гаркави (ИГ) (≥ 0,4). Полученный результат подтверждает факт повышенной нагрузки на симпатическую нервную систему в ответ на экстремальные факторы полета.

У летчиков в возрасте до 30 лет ИГ был значительно выше, чем у летчиков старше 30, и менее зависел от годовой летной нагрузки. ИГ находился в диапазоне от 1 до 2 усл. ед., тогда как у летчиков старше 30 лет значение ИГ варьировало от 0,8 до 1,5 усл. ед. и наблюдалась прямая зависимость значения ИГ от годовой нагрузки (рис. 1, 2).

Полученный результат можно, по-видимому, объяснить влиянием на стрессоустойчивость фактора тренированности к полету, что подтверждается результатами научных работ по изучению гравитационных перегрузок [19].

При проведении ОКТ для детального анализа состояния ганглиозных клеток сетчатки значение показателя протокола GCC – GLV% ранжировали на значения от 0,01 до ≥ 2,9, где GLV% до ≥ 2 считается клинически значимым.

Сравнительный анализ динамики GLV% по возрастному фактору демонстрирует превалирование клинически значимого индекса потери GLV% ≥ 2,0, у летчиков по сравнению с контрольной группой. При этом в первой возрастной группе (до 30 лет) процентная разница составила 71 %, во второй – 60 % (до 40 лет), в третьей – 32 % (от 41 года) по сравнению с контрольной группой (рис. 3, 4).

Проведенный анализ выявил у летчиков зависимую от летного стажа тенденцию возрастания глобальной потери ганглиозных клеток (GLV% ≥ 2) в подгруппах – «до 300 ч» и «свыше 1000 ч». В подгруппе «до 300 ч» потери ганглиозных клеток (GLV% ≥ 2) составили 30 %, в подгруппе «свыше 1000 ч» – 32 % (табл. 4).

Летчики с летным стажем до 300 ч соответствовали возрастной группе «до 30 лет». Результаты анализа GLV% в этой подгруппе указывают на снижение функционального резерва ЦНС, обусловленного действием хронического стресса, который провоцируется низкой тренированностью

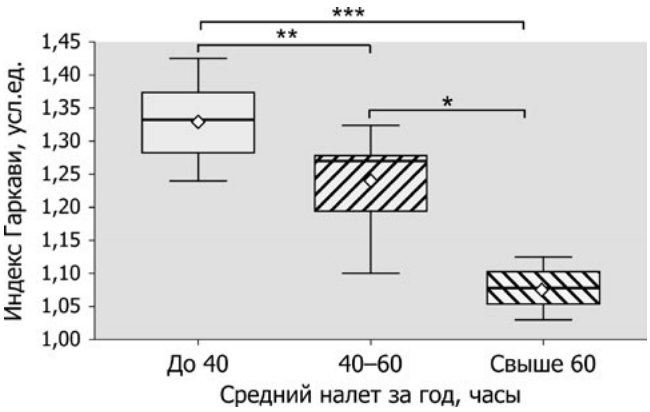

Рис. 1. Распределение индекса Гаркави у летчиков до 30 лет в зависимости от среднего годового налета (* – p < 0,05; ** – p < 0,01; *** – p < 0,001)

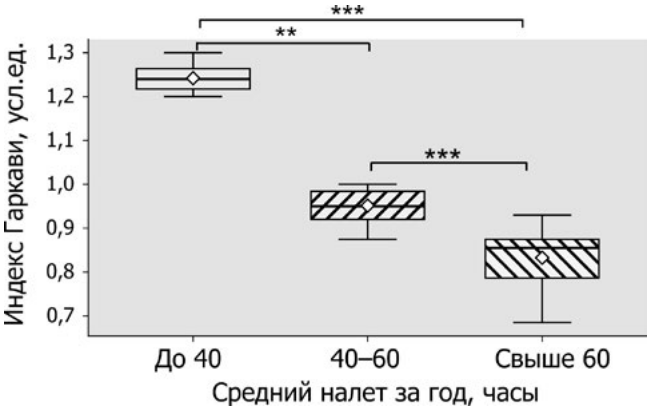

Рис. 2. Распределение индекса Гаркави у летчиков от 30 лет и старше в зависимости от среднего годового налета (* – p < 0,05; ** – p < 0,01; *** – p < 0,001)

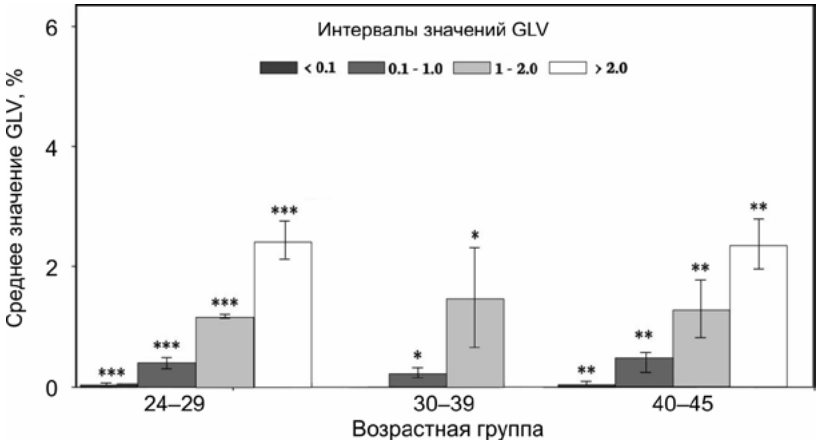

Рис. 3. Сравнительный анализ значений GLV% в основной группе (* – p < 0,05; ** – p < 0,01; *** – p < 0,001)

к полету. В группе летчиков «старше 36 лет» с общим налетом более 1000 ч клинически значимое значение GLV%, по всей видимости, указывает на снижение физиологической адаптации ЦНС, обусловленное длительностью действия экстремальных факторов полета.

Таким образом, ОКТ сетчатки позволила выявить объективный морфологический субстрат, ассоциированный с профессиональным стрессом. Статистически значимое увеличение показателя глобальной потери ганглиозных клеток (GLV%) в основной группе прямо указывает на наличие структурно-функциональных изменений сетчатки, которые могут быть следствием длительной симпатоадреналовой нагрузки.

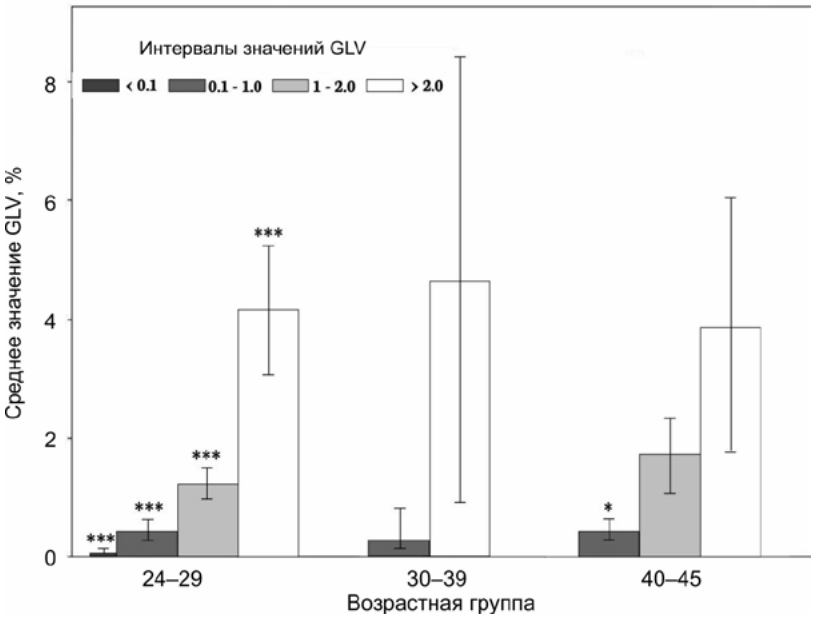

Рис. 4. Сравнительный анализ значений GLV% в контрольной группе (* – p < 0,05; ** – p < 0,01; *** – p < 0,001)

Проведенный статистический анализ параметров летной нагрузки, биохимических маркеров хронического стресса, значений ОКТ у летчиков демонстрирует статистически значимую прямую зависимость (p < 0,5) GLV% и ИГ (табл. 5).

Анализ результатов исследования выявил статистически значимую сильную положительную корреляцию между общим налетом и возрастом летчиков (r = 0,82; p < 0,05). Умеренные положительные корреляции наблюдались между общим налетом и уровнем холестерина (r = 0,68; p < 0,05), а также между возрастом и уровнем холестерина (r = 0,70; p < 0,05).

Показатель GLV% демонстрировал слабые отрицательные корреляции с общим налетом (r = -0,30; p < 0,05) и возрастом (r = -0,31; p < 0,05), что указывает на тенденцию к увеличению потери ганглиозных клеток с ростом профессионального стажа. Причем прямая корреляция между GLV% и ИГ не достигла статистической значимости (r = -0,06; p > 0,05), однако наблюдаемая тенденция может указывать на структурные изменения сетчатки, связанные с адаптационной перестройкой организма.

Совокупность полученных данных позволяет рассматривать параметр глобальной потери ганглиозных клеток – GLV%, измеряемый с помощью неинвазивной и высокоточной ОКТ, в качестве высокоперспективного биомаркера для оценки психофизиологического резерва и функционального состояния организма пилотов. Изменение этого индекса может служить индикатором кумулятивного «износа» адаптационных систем, вызванного профессиональной деятельностью.

Выводы

1. Комплексный анализ биохимических маркеров хронического стресса в исследуемой группе летчиков показал высокую диагностическую значимость лейкоцитарного индекса стрессоустойчивости Гаркави (ИГ), значение которого превышало норму в 85 % случаев в основной группе (p < 0,05). Значение ИГ прямо коррелировало с возрастом и летным стажем.

2. Оптическая когерентная томография сетчатки у летчиков высокоманевренной авиации впервые выявила структурные изменения (повышенный уровень глобальных потерь ганглиозных клеток

Таблица 4

Глобальные потери ганглиозных клеток (GLV%) в основной группе в зависимости от летного стажа

Общий налет, ч	Количество летчиков	Глобальные потери ганглиозных клеток (GLV%)			
		0,01–0,09	0,1–0,9	1,0–1,1	≥ 2,0
До 300	24	8,3 %	37,5 %	17 %	30 %
От 300 до 1000	61	11 %	44 %	22 %	11 %
Свыше 1000	35	0	52 %	16 %	32 %

Таблица 5

Корреляционные взаимосвязи между профессиональными, биохимическими и офтальмологическими показателями у летчиков высокоманевренной авиации

Показатель	Значение	Станд. отклонение	Общий налет	Возраст	GLV	Холестерин	Индекс Гаркави	СОЭ, мм/ч	ЛПНП	ЛПВП
Общий налет	887,349	663,445	1	0,820498*	-0,303044*	0,68372*	-0,042695	-0,248778	0,318811*	0,516271*
Возраст	34,907	8,928	0,820498*	1	-0,309935*	0,703452*	0,114276	-0,289072	0,227515	0,423663*
GLV	1,791	0,412	-0,303044*	-0,309935*	1	0,374906*	-0,061928	-0,061807	-0,354927*	-0,368468*
Холестерин	4,924	1,113	0,683721*	0,703452*	-0,374906*	1	-0,076651	-0,163467	0,347678*	0,497871*
Индекс Гаркави	0,819	0,244	-0,042695	0,114276	-0,061928	-0,076651	1	-0,214278	-0,011329	0,094395
СОЭ, мм/ч	8,177	2,932	-0,248778	-0,289072	-0,061807	-0,163467	-0,214278	1	0,482821*	-0,009682
ЛПНП	3,597	0,538	0,31881*	0,227515	-0,354927*	0,347678*	-0,011329	0,482821*	1	0,869989*
ЛПВП	1,076	0,284	0,516271*	0,423663*	-0,368468*	0,497871*	0,094395	-0,009682	0,869989*	1

Примечание. Представлены коэффициенты корреляции Пирсона (r) между показателями.
* – значения выше |0,3| являются статистически значимыми при $p < 0,05$.

сетчатки GLV%), отражающий индивидуальные особенности адаптации ЦНС к экстремальным факторам летной нагрузки.

3. В возрастной подгруппе летчиков 25–30 лет с летной нагрузкой до 40 ч в год клинически значимое увеличение GLV% может отражать изменения, связанные с периодом адаптации к комплексному воздействию факторов полета, что рассматривается в контексте формирования состояния хронического профессионального стресса.

4. У летчиков возрастной подгруппы 36–45 лет с общим налетом более 1000 ч клинически значимое увеличение GLV% может указывать на снижение физиологического резерва ЦНС, обусловленное длительным действием экстремальных факторов полета.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гос. задания ИМБП НИР РАН, тема № FVFR-2024-0034.

Список литературы

1. *Шалимов П.М.* Рационализация режима труда и отдыха, нормирование профессиональной нагрузки // Психофизиологическая надежность летчика: научно-тематический сборник / Г.П. Ступаков, ред. М., 1993. С. 74–80.

Shalimov P.M. Rationalization of work and rest regime, rationing of professional workload // Psychophysiological reliability of a pilot: a scientific and thematic collection / G.P. Stupakov, ed. Moscow, 1993. P. 74–80.

2. *Пономаренко В.А.* Категория здоровья как теоретическая проблема в авиакосмической медицине // Косм. биология и авиакосм. мед. 1990. Т. 24. № 3. С. 17–23.

Ponomarenko V.A. The category of health as a theoretical problem in aerospace medicine // Kosmicheskaya biologiya i aviakosmicheskaya meditsina. 1990. V. 24. № 3. P. 17–23.

3. *Ушаков И.Б. и др.* Атлас по авиационной и космической медицине / Ушаков И.Б., В.А. Рогожников, ред. М., 2008.

Ushakov I.B. et al. Atlas of aviation and space medicine / I.B. Ushakov, V.A. Rogozhnikov, eds. Moscow, 2008.

4. *Храмов Е.В., Деулин Д.В., Котенев И.О., Пахалкова А.А.* Соматические проявления при посттравматическом стрессовом расстройстве // Современная зарубежная психология. 2023. Т. 12. № 3. С. 64–73.

Khramov E.V., Deulin D.V., Kotenev I.O., Pahalkova A.A. Somatic manifestations of post-traumatic stress disorder // Sovremennaya zarubezhnaya psikhologiya. 2023. V. 12. № 3. P. 64–73.

5. *Сиваш О.Н.* Личностно-ориентированная экспертиза профессиональной пригодности летчиков: Автореф. дис. … канд. психол. наук. М., 2009.

Sivash O.N. Personality-oriented examination of pilots' professional aptitude: Avtoreferat dissertatsii … kandidata psikhologicheskikh nauk. Moscow, 2009.

6. *Ушаков И.Б.* Общая структурная (каскадная) схема изменений профессионального здоровья в авиации // Авиакосм. и экол. мед. 1994. Т. 28. № 5. С. 4–8.

Ushakov I.B. General structural (cascade) scheme of professional health changes in aviation // Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina. 1994. V. 28. № 5. P. 4–8.

7. *Козлов В.В., Косолапов О.А., Федорук А.Г.* Развитие методологии определения причин летных происшествий // Человеческий фактор: проблемы психологии и эргономики. 2017. Т. 84. № 3-1. С. 68–72.

Kozlov V.V., Kosolapov O.A., Fedoruk A.G. Development of methodology for determining the causes of flight accidents // Chelovecheskiy faktor: problemy psikhologii i ergonomiki. 2017. V. 84. № 3-1. P. 68–72.

8. *Хомская Е.Д.* Нейропсихология. СПб., 2005.

Khomskaya E.D. Neuropsychology. St.-Petersburg, 2005.

9. *Коршунова Д.В., Гиззатуллина Е.А., Брындина И.Г.* Влияние хронического психосоциального стресса на интенсивность дегенеративных изменений в сетчатке у крыс с различной стресс-резистентностью // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т. 16. № 5 (4). С. 1215–1218.

Korshunova D.V., Gizzatullina E.A., Bryndina I.G. The effect of chronic psychosocial stress on the intensity of degenerative changes in the retina in rats with different stress resistance // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN. 2014. V. 16. № 5. P. 1215–1218.

10. *Гулиева Р.Н.* Изменения сетчатки при болезни Альцгеймера // Вестник офтальмологии. 2020. Т. 136. № 3. С. 74–78.

Guliyeva R.N. Retinal changes in Alzheimer's disease // Vestnik oftal'mologii. 2020. V. 136 № 3. P. 74–78.

11. *Зуева М.В., Журавлева А.Н., Боголепова А.Н.* Дендритное ветвление ганглиозных клеток сетчатки как биомаркер глаукомной оптической нейропатии и болезни Альцгеймера и мишень нейропротекторной терапии // Офтальмология. 2022. Т. 19. № 3. С. 532–540.

Zueva M.V., Zhuravleva A.N., Bogolepova A.N. Dendritic branching of retinal ganglion cells as a biomarker of glaucoma optic neuropathy and Alzheimer's disease and a target of neuroprotective therapy // Oftal'mologiya. 2022. V. 19. № 3. P. 532–540.

12. *Светозарский С.Н., Копишинская С.В.* Оптическая когерентная томография сетчатки при нейродегенеративных заболеваниях (обзор) // Соврем. технол. мед. 2015. Т. 7. № 1. С. 123.

Svetozarskiy S.N., Kopishinskaya S.V. Optical coherence tomography of the retina in neurodegenerative diseases (review) // Sovremennye tehnologii meditsiny. 2015. V. 7. № 1. P. 123.

13. *Рзаева Н.М., Дмитренко А.И.* Зрительная кора и ее участие в регуляции функции сетчатки // Вестник офтальмологии. 2013. Т. 129. № 1. С. 4–9.

Rzaeva N.M., Dmitrenko A.I. The visual cortex and its involvement in the regulation of retinal function // Vestnik oftal'mologii. 2013. V. 129. № 1. P. 4–9.

14. *Trebst C., Jarius S., Berthele A. et al.* Optica Study Group (NEMOS). Update on the diagnosis and treatment of neuromyelitis optica: recommendations of the Neuromyelitis Optica Study Group (NEMOS) // J.Neurol. 2014. V. 261. № 1. P. 1–16.

15. *Garcia-Martin E., Satue M. et al.* Retina measurements for diagnosis of Parkinson disease // Retina. 2014. V. 34. № 5. P. 971–980.

16. *Malan L., van Wyk R., von Känel R. et al.* The chronic stress risk phenotype mirrored in the human retina as a neurodegenerative condition // Stress. 2023. V. 26. № 1.

17. *Schippling S., Balk L., Costello F., Albrecht P. et al.* Quality control for retinal OCT in multiple sclerosis: validation of the OSCAR-IB criteria // Mult. Scler. 2015. V. 21. № 2. P. 163–170.

18. *Глок М.А., Кулешова О.Н., Черных В.В. и др.* Результаты измерения толщины внутренних слоев сетчатки при помощи оптической когерентной томографии условно здоровых лиц разных возрастных групп // Сибирский науч. мед. журнал. 2015. Т. 35. № 1. С. 9–13.

Glok M.A., Kuleshova O.N., Chernyh V.V. et al. The results of measuring the thickness of the inner layers of the retina using optical coherence tomography of conditionally healthy individuals of different age groups // Sibirskiy nauchny medicinskiy zhurnal. 2015. V. 35. № 1. P. 9–13.

19. *Дыскин Е.А.* Пластичность нервного аппарата и микроциркуляторного русла при воздействии гравитационных перегрузок. Л., 1980.

Dyskin E.A. Plasticity of the nervous system and microcirculatory system under the influence of gravitational overloads. Leningrad, 1980.

Поступила 10.11.2025

ASSESSMENT OF THE RETINA GANGLION CELLS AS A BIOMARKER OF CHRONIC STRESS IN PILOTS OF HIGHLY MANEUVERABLE AIRCRAFTS

Podyanov D.A., Gracheva M.A., Koneva D.A., Semenova A.V., Nosovsky A.M., Manko O.M., Bubeev Yu.A.

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Ganglion cells of the retina were studied as potential biomarkers of chronic stress in pilots of highly maneuverable aircrafts. We examined 120 pilots at the age of 24 to 45 years with flight time total from 52 to 1600 hours. Their controls were 79 men at the age of 24 to 45 years who did not have dangerous professions.

Stress level in pilots was evaluated by biochemical markers including ESR, total cholesterol, high density lipids (HDL) and low density lipids (LDL). Stress tolerance index was calculated from the leucogram formula developed by L.H. Garkavi.

Optic coherent tomography (OCT) was performed using RTVue-100 (Optovue, USA). Protocols of scanning the optic nerve head (ONH), optic nerve disc (3D Disc), ganglion cells complex (GCC) applied and their results were compared with the biochemical markers of the chronic stress.

The observed considerable global loss of the ganglion cells (GLV%) reproduces specifics of the central nervous system adaptation to the extreme factors of piloting. The loss did not correlate with the biochemical status and was depended significantly on the total flight hours, pilot's «training».

Key words: pilots, highly maneuverable aircrafts, chronic stress, optical coherent tomography, retina, ganglion cells.

Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina (Russia). 2026. V. 60. № 2. P. 49–56.