

*Д. С. Третьяков, О. П. Обухович*  
**ВЛИЯНИЕ ГИПЕРКАПНИИ НА КОНТРАСТНО-ЦВЕТОВУЮ  
ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ЗРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ**

*Научные руководители: д-р мед. наук, проф. А. И. Кубарко,  
аспирант А. А. Анисимов*

*Кафедра нормальной физиологии,  
Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск*

***Резюме.** Представлены результаты исследования влияния гиперкапнии на контрастно-цветовую чувствительность зрительной системы. Определены направленность и величины изменений контрастно-цветовой чувствительности.*

***Ключевые слова:** контрастно-цветовая чувствительность, гиперкапния, углекислый газ, сосуды сетчатки.*

***Resume.** The results of the research of the effect of hypercapnia on contrast-color sensitivity of the visual system were presented. The direction and magnitude of change of contrast-color sensitivity were determined.*

**Keywords:** *contrast-color sensitivity, hypercapnia, carbon dioxide, retina vessels.*

**Актуальность.** Нарушение кровотока в сосудах зрительной системы является одной из ведущих причин снижения и потери зрения. Принято считать, что морфометрические параметры сосудов сетчатки и ее гемодинамика имеют определяющее значение в осуществлении функций сетчатки, а их изменение часто является ранним признаком нарушений гемодинамики в сосудах мозга, увеличения риска развития ишемии и инсультов. Рядом исследователей показано, что при гипероксии наблюдается сужение сосудов мозга, а при гиперкапнии - расширение, однако выраженность и направленность этих реакций сосудов не всегда однозначны [1].

Между состоянием кровотока в сети сосудов макро- и микроциркуляторного русла и функцией клеток существует взаимосвязь [2]. Высокий уровень метаболизма большого количества нервных элементов зрительной системы обуславливает значительную зависимость их функции, и в первую очередь функции фоторецепторов сетчатки, от состояния системы доставки к ним кислорода и питательных веществ [3, 4]. Таким образом, характер ответа сосудов можно оценить не только по данным морфометрических измерений, но и по изменению зрительных функций. Известно, что одним из чувствительных показателей зрения являются его пороги.

**Цель:** установить характер изменения контрастно-цветовой чувствительности (КЦЧ) в условиях гиперкапнии, возникающей при вдыхании атмосферного воздуха, обогащенного углекислым газом (CO<sub>2</sub>).

**Задачи:**

1. Определить направленность изменения КЦЧ при гиперкапнии различной глубины.
2. Оценить степень выраженности изменений КЦЧ в различных областях поля зрения.

**Материал и методы.** Были измерены пороги КЦЧ у 20 здоровых студентов БГМУ (средний возраст [ $\pm$ SD] 18.7  $\pm$ 2.68 года), не предъявлявших жалоб на зрение. Гиперкапния моделировалась посредством вдыхания атмосферного воздуха с содержанием 2 и 6% CO<sub>2</sub> через специально разработанную маску с встроенными клапанами и трубкой, присоединяемой к пакету с газовой смесью. Глубина гиперкапнии исследовалась путем анализа состава альвеолярного воздуха на газовом анализаторе.

Измерение порогов КЦЧ осуществлялось методом кампиметрии после 20-минутного периода темновой адаптации испытуемых в условиях физического и психологического комфорта в экранированном, шумо- и светоизолированном помещении.

Испытуемого при определении КЦЧ просили поместить подбородок и зафиксировать голову на подставке на расстоянии 35 см от экрана монитора размером 30,48 x 22,86 см так, чтобы зрительная ось располагалась на уровне центра

экрана. На один глаз надевалась повязка.

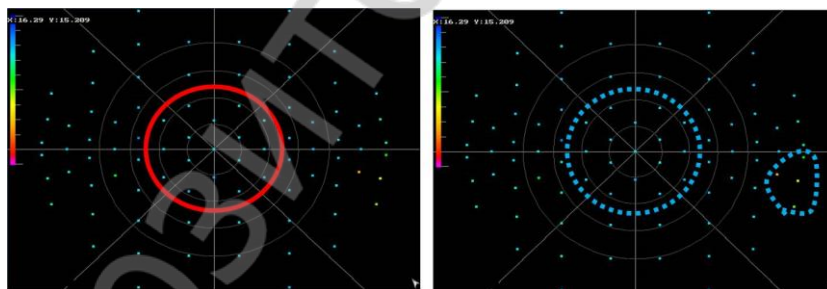
Перед измерением КЦЧ определялось время визуальной сенсомоторной реакции (СМР) испытуемых, для чего их просили надеть маску, расслабиться, привыкнуть к обстановке, и затем 8-10 раз нажимать как можно быстрее клавишу ввода на клавиатуре после появления на экране яркого визуального объекта. Среднее значение времени СМР автоматически учитывалось компьютером при определении КЦЧ.

Испытуемых просили удерживать взор на слабо светящейся центральной точке-метке в центре экрана и при восприятии боковым зрением периодически возникающих в разных участках экрана точек красного цвета нарастающей яркости как можно быстрее нажимать клавишу ввода [2].

Исследование КЦЧ проводилось в 3 этапа с 10-минутными интервалами между ними: тренировочное тестирование; тестирование при вдыхании атмосферного воздуха (контроль); тестирование при вдыхании воздуха с повышенным содержанием углекислого газа (опыт). Перед каждым этапом проводилось измерение скорости реакции. Между этапами контролировался состав выдыхаемого воздуха.

Для исследования зависимости КЦЧ от повышения концентрации углекислого газа испытуемые были разделены на 2 случайные группы. Первая группа использовала для дыхания смесь атмосферного воздуха с 2% CO<sub>2</sub>, вторая – смесь атмосферного воздуха с 6% CO<sub>2</sub>.

Значения КЦЧ рассчитывали для 2 областей: области макулы и области поля зрения за вычетом макулы и слепого пятна (рис. 1).



*Рисунок 1* - Точки, используемые для расчета КЦЧ в области макулы (слева) и точки, используемые для расчета КЦЧ в области поля зрения за вычетом макулы и слепого пятна (справа)

Обработка данных проводилась в программе Statistica 6.0. Достоверность оценивалась с использованием коэффициента Стьюдента при 95% уровне надежности.

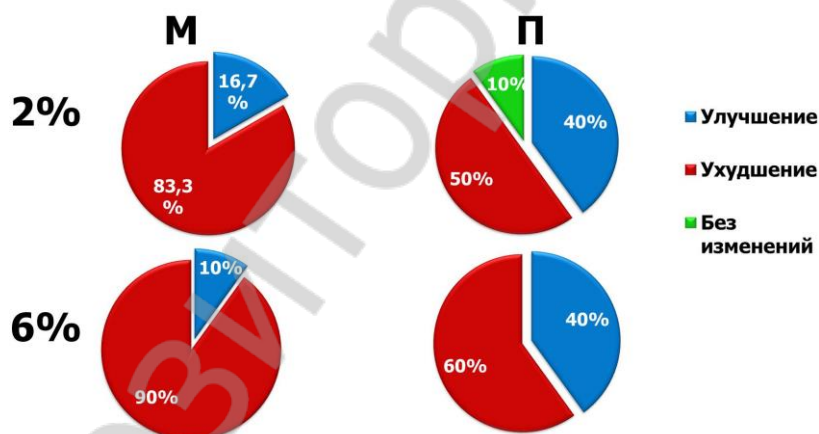
**Результаты и их обсуждение.** В результате эксперимента были выявлены значимые изменения КЦЧ различной направленности (таблица 1).

В соответствии с характером выявленных изменений КЦЧ испытуемые каждой группы были разделены на 2 подгруппы: испытуемые, КЦЧ которых улучшилась, и испытуемые, КЦЧ которых ухудшилась. Кроме того, рассчитан процент испытуемых с учетом изменений их КЦЧ в различных областях поля зрения (рис. 2).

**Таблица 1.** Изменения контрастно-цветовой чувствительности при гиперкапнии

Группа испытуемых	Область	Характер изменения КЦЧ (% испытуемых)	Порог КЦЧ (контроль)	Порог КЦЧ (опыт)	Разница ('контроль' - 'опыт')	p
2% CO <sub>2</sub> 12 чел	Макула	↑16,7*	29,0	28,2	0,8	-
		↓83,3	25,1±1,95	26,0±2,1	-0,9±0,5	0,0038
	Поле за вычетом	↑40,0	27,9±2,8	27,5±2,7	0,4±0,15	0,0138
		↓50,0	25,9±2,0	27,1±2,0	-1,1±0,7	0,0145
		= 10,0	23	23	0	-
6% CO <sub>2</sub> 10 чел	Макула	↑10,0	25,4	25,2	0,2	0,0003
		↓90,0	27,1±1,6	28,4±1,8	-1,2±0,9	0,011
	Поле за вычетом	↑40,0	28,9±2,2	28,3±2,0	0,6±0,2	0,0193
		↓60,0	27,2±1,2	28,7±1,2	-1,5±1,0	-

\* ↑- улучшение КЦЧ; ↓ - ухудшение КЦЧ; = КЦЧ без изменений.



**Рисунок 2** - Направленность изменения КЦЧ в зависимости от глубины гиперкапнии

В первой группе (2% CO<sub>2</sub>) в области макулы (на рисунке – М) улучшение КЦЧ наблюдалось в 16,7% случаев, во второй группе (6% CO<sub>2</sub>) – в 10% случаев. Чаще всего в области макулы наблюдалось ухудшение КЦЧ у 83,3 % испытуемых в первой группе и у 90 % испытуемых во второй группе.

В области поля зрения за вычетом макулы и слепого пятна (на рисунке – П) в первой и второй группе улучшение КЦЧ отмечалось у 40% испытуемых. Ухудшения наблюдались в 50% случаев в первой, и в 60 % случаев во второй группе. Также в первой группе у 10 % испытуемых изменения КЦЧ не было зарегистрировано.

Для анализа полученных результатов для каждой подгруппы была построена диаграмма, характеризующая степень выраженности наблюдаемых изменений. В

подгруппе испытуемых с улучшением КЦЧ (рис. 3, слева), использовавших для дыхания воздух с 2% CO<sub>2</sub>, в области макулы наблюдалось улучшение КЦЧ на 0,8 относительных единиц (о.е.), в то время как у испытуемых, вдыхавших смесь воздуха с 6% CO<sub>2</sub> в области макулы улучшение КЦЧ составило 0,2 о.е. В периферической области испытуемых дышавших воздухом с 2% CO<sub>2</sub> КЦЧ улучшилась на 0,42 единицы, а в подгруппе – с 6% CO<sub>2</sub> - на 0,6 о.е.

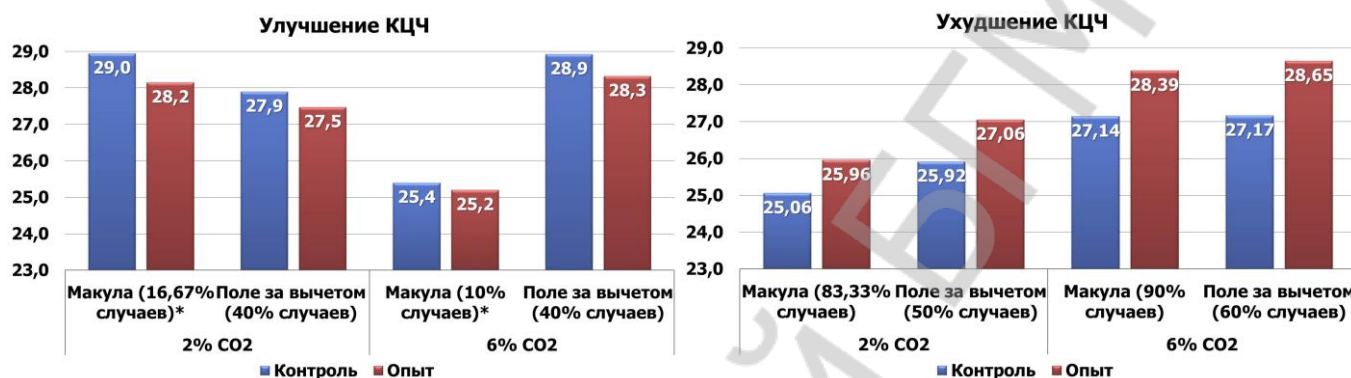


Рисунок 3 – Выраженность изменений КЦЧ

В подгруппе с ухудшением КЦЧ (рис. 3, справа) у испытуемых, вдыхавших воздух с 2% CO<sub>2</sub>, в области макулы наблюдалось ухудшение КЦЧ на 0,9 о.е., в то время как в группе с 6% CO<sub>2</sub> в этой области ухудшение было более значительным и составило 1,2 единицы. В периферической области в группе с 2% CO<sub>2</sub> - КЦЧ ухудшилась на 1,14 относительных единиц, а в группе с 6% CO<sub>2</sub> - на 1,4 относительных единиц, соответственно.

Известно, что кровоснабжение сетчатки осуществляется сосудами двух сетей: центральной артерии сетчатки и собственно сосудистой оболочки. Сосуды центральной артерии кровоснабжают внутренние слои, в то время как сосуды хориоидальной оболочки – в основном внешние слои сетчатки глаза [5].

Регуляция кровотока в сосудах сетчатки и других структур зрительной системы может осуществляться автономной нервной системой, сосудодобивными веществами и метаболитами [6,7].

С учетом сложности механизмов, контролирующей гемодинамику сетчатки и других структур зрительной системы, можно предполагать, что наблюдавшаяся нами разнонаправленность изменений КЦЧ в условиях гиперкапнии, является следствием различных соотношений во влиянии на кровоток и метаболизм нейронов сетчатки факторов их регуляции.

#### Выводы:

1. Развитие гиперкапнии вызывает изменение КЦЧ, направленность которого зависит от глубины гиперкапнии: при повышении концентрации углекислого газа во вдыхаемом воздухе у испытуемых чаще отмечалось ухудшение КЦЧ и реже – улучшение КЦЧ.

2. Наиболее часто ухудшение КЦЧ наблюдалось в макулярной области

сетчатки, а наиболее глубокое снижение КЦЧ - в области поля зрения за вычетом макулы и слепого пятна.

*D.S. Tretyakov, O. P. Obuhovich*  
**INFLUENCE OF HYPERCAPNIA AT THE CONTRAST-COLOR SENSITIVITY  
OF VISUAL SYSTEM**

*Tutor professor A. I. Kubarko,  
postgraduate student A. A. Anisimov  
Department of normal physiology,  
Belarusian State Medical University, Minsk*

**Литература**

1. Retinal Arteriolar and Middle Cerebral Artery Responses to Combined Hypercarbic/Hyperoxic Stimuli / M.Kisilevsky, A. Mardimae, M. Slessarev et al. // Investigative Ophthalmology & Visual Science – 2008. - №49. – P. 5503-5509.
2. Кубарко А.И., Кубарко Н.П., Кубарко Ю.А. Контрастно-цветовая чувствительность зрения как биомаркер состояния гемодинамики в сосудах системного и микроциркуляторного русла / А. И. Кубарко, Н. П. Кубарко, Ю. А. Кубарко // Здоровоохранение. - 2014. - №9. - С. 57-66.
3. Macaluso C., Onoe S., Niemyer G. Changes in glucose level affect rod function more than cone function in the isolated, perfused cat eye / C. Macaluso, S. Onoe, G. Niemyer// Investigative Ophthalmology & Visual Science - 1992. - №33. - P. 2798 – 2808.
4. Ocular blood flow and retinal metabolism in abyssinian cats with hereditary retinal degeneration / S. F. Nilsson, O. Mäepea, A. Alm et al. // Investigative Ophthalmology & Visual Science - 2001. - №42. - P. 1038 – 1044.
5. Kergoat H., Faucher C. Effects of Oxygen and Carbogen Breathing on Choroidal Hemodynamics in Humans/ H. Kergoat, C. Faucher // Investigative Ophthalmology & Visual Science – 1999. - №40 – P. 2906-2911.
6. Regulation of Retinal and Optic Nerve Blood Flow / A. Harris, T. A. Ciulla, H. S. Chung et al. // Arch. Ophthalmol. - 1998. - №116. - P. 1491 – 1495.
7. Bill A., Sperber G.O. Control of retinal and choroidal blood flow / A. Bill, G.O. Sperber // Eye (Lond). – 1990. - №4. – P. 319-325.