

Изменение порогов световой чувствительности зрительной системы в условиях локального температурного воздействия и ее зависимость от состояния системного кровотока

Белорусский государственный медицинский университет

В статье представлены данные количественной оценки состояния световой чувствительности зрительной системы, некоторых показателей системной гемодинамики у здоровых молодых людей в условиях локального температурного воздействия. Показано существование определенной связи между изменениями порогов светочувствительности зрительной системы и отдельными показателями системной гемодинамики (диастолического и среднего гемодинамического артериального давления), тонусом автономной нервной системы. Обсуждаются возможные механизмы влияния состояния автономной нервной системы и системного кровотока на светочувствительность зрительной системы. Ключевые слова: порог световой чувствительности, артериальное давление, холодное воздействие, тепловое воздействие, механизмы регуляции, тонус сосудов.

Регуляция кровотока сетчатки и других структур зрительной системы осуществляется механизмами ауторегуляции тонуса сосудов с участием автономной нервной системы (АНС), многих факторов гуморальной и метаболической природы [10,13]. Регуляцию состояния кровотока в сетчатке принято рассматривать в качестве модели регуляции мозгового кровотока в ответ на действие различных факторов окружающей среды [13,14]. Высокий уровень метаболизма большого количества нервных элементов зрительной системы обуславливает значительную зависимость их функции, и в первую очередь фоторецепторов сетчатки, от состояния системы доставки к ним кислорода и питательных веществ [6,11]. Это дает основание предполагать возможность изменения световой чувствительности зрительной системы при изменении ее кровоснабжения.

Цель исследования – изучение зависимости порогов световой чувствительности центральных областей поля зрения и характера их изменения от показателей системной гемодинамики у здоровых молодых людей в условиях локального температурного воздействия.

Материал и методы

Обследован 71 практически здоровый студент I-III курсов Белорусского государственного медицинского университета (38 мужчин, 33 женщины, 73 глаза; возраст испытуемых составлял от 17 до 27 лет, средний возраст [\pm SD] $19,5 \pm 1,48$ года). Исследование световой чувствительности проводилось после 20-минутного периода темновой адаптации в состоянии физического и психологического комфорта испытуемых в экранированной, шумо-и светоизолированной камере. Температура в камере поддерживалась в пределах 20-22°C, обеспечивалась достаточная приточная вентиляция (1,5 м³/мин). В качестве локального температурного воздействия (ЛТВ) были выбраны тепловая и холодная пробы [7].

Исследование световой чувствительности проводилось в 3 этапа с 15-минутными интервалами между этапами: без ЛТВ (контроль); на фоне погружения кисти левой руки в теплую воду, $t = 41^{\circ}\text{C}$, время экспозиции 4 мин.; а также на фоне двукратного погружения кисти левой руки в холодную, $t = 4^{\circ}\text{C}$, воду в течение 1 мин. с 2-минутным перерывом. Регистрация порогов световосприятия центральных областей поля зрения (ЦОПЗ) осуществлялась методом статической компьютерной периметрии (СКП) с использованием специально разработанной компьютерной программы [4]. Исследовались пороги световосприятия ЦОПЗ правого глаза в пределах 18° от центральной ямки. На каждом этапе исследования испытуемому в случайном порядке предъявлялось 88 точечных световых стимулов, 13 точек в области слепого пятна исключалась при обработке данных СКП. Порог световосприятия (ПС) оценивался по пороговой яркости светового стимула, выраженной в процентах от максимальной яркости стимула на момент формирования сенсомоторной реакции при нажатии пальцем правой руки на клавишу компьютера.

Измерение артериального давления (АД) и частоты сердечных сокращений (ЧСС) проводилось при помощи автоматического осциллометрического измерителя артериального давления на плечевой артерии (Microlife BP3BТ0-AP, Microlife AG, Switzerland) в положении испытуемого сидя перед началом исследования, на 2-й минуте и в момент окончания исследования. Оценивалась величина индекса отклонения (D_i) диастолического (АДдиа) и среднего гемодинамического артериального давления (АДСгд) на 2-й минуте и после окончания исследования. АДсгд и D_i рассчитывались по следующим формулам:

$$\text{АДСгд} = \text{АДдиа} + \text{АДпульс}/3$$

где АДпульс – пульсовое АД.

D_i для АДдиа рассчитывалось по формулам:

$$D_{i1} = (\text{АДдиа}1 - \text{АДдиа}0) / \text{АДдиа}0$$

$$D_{i2} = (\text{АДдиа}2 - \text{АДдиа}0) / \text{АДдиа}0;$$

D_i для АДСгд рассчитывалось по формулам:

$$D_{i1} = (\text{АДСгд}1 - \text{АДСгд}0) / \text{АДСгд}0$$

$$D_{i2} = (\text{АДСгд}2 - \text{АДСгд}0) / \text{АДСгд}0$$

где АДдиа0, АДСгд0 – соответствующий показатель системной гемодинамики (СГ) перед началом температурного воздействия; АДдиа1, АДСгд1 – показатель СГ на 2-й минуте воздействия; АДдиа2, АДСгд2 – показатель СГ после окончания температурного воздействия.

Для изучения исходного тонуса и реактивности АНС в условиях ЛТВ использовали анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР) по 5 – 8-минутным интервалам ЭКГ [1], записанным непосредственно перед выполнением очередного этапа исследования, в ходе исследования и после прекращения ЛТВ. Анализ ВСР осуществлялся с использованием программы Бриз-М (ИМО Интеркард, Республика Беларусь). Коэффициент вариации (C_v) рассчитывали по формуле:

$$C_v = \frac{\sigma}{M} * 100\%$$

где σ – среднее квадратичное отклонение, M – средняя величина.

Для оценки состояния АНС использовался суммарный показатель вариабельности величин интервалов RR за рассматриваемый период – SDNN. Оценивая

результаты исследования, мы принимали во внимание, что при анализе коротких записей ЭКГ, как правило, уменьшение SDNN интерпретируют как свидетельство усиления тонуса симпатической нервной системы (СНС) [1].

Полученные данные обработаны методами вариационной статистики. Достоверность дисперсионного анализа множественных сравнений оценивалась с использованием критерия Стьюдента с поправкой Бонферрони при 95%-ном уровне надежности. Данные представлены в виде $M \pm$ стандартная ошибка среднего (SE).

Результаты и обсуждение

По результатам СКП были выявлены значимые изменения ПС зрительной системы различной направленности (рис. 1). В соответствии с характером выявленных изменений все обследованные разделены на 3 группы: испытуемые, ПС у которых не изменялся – 1-я группа (33,8% обследованных); испытуемые со снижением ПС в процессе выполнения теплового и холодового воздействия – 2-я группа (52,1% случаев); испытуемые с повышением ПС при тепловом воздействии – 3-я группа (14,1% обследованных). Группы испытуемых были однородны по возрасту и полу.

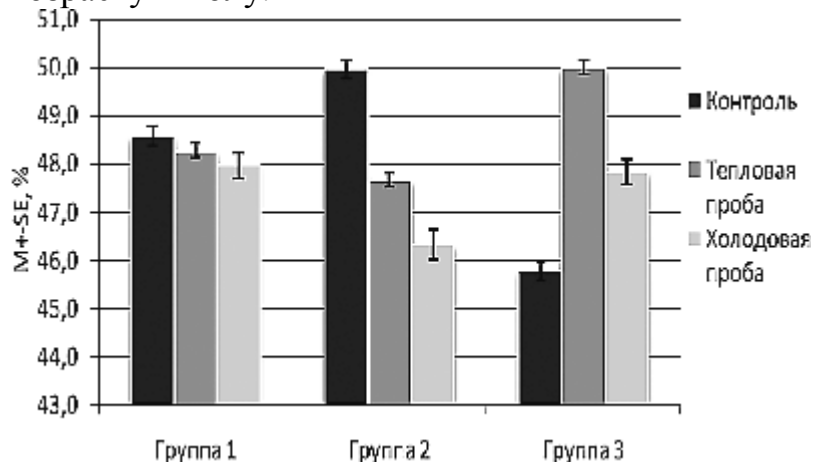


Рис. 1. Изменение порогов световой чувствительности ЦОПЗ в условиях локального температурного воздействия

По данным исследования, по сравнению с контрольным ПС у испытуемых 1-й группы ($48,6 \pm 0,20\%$) во 2-й группе обследованных наблюдался более высокий исходный ПС ($50,0 \pm 0,16\%$) и более низкий у испытуемых 3-й группы ($45,8 \pm 0,28\%$) ($P < 0,05$). Снижение ПС после температурного воздействия у испытуемых 2-й группы достигало 9,4%, а 3-й группы его прирост при тепловом воздействии достигал 9,2% от исходного уровня (рис. 1).

Наблюдавшиеся нами изменения световой чувствительности могут быть обусловлены действием различных факторов, участвующих в регуляции тонуса сосудов – ветвей а. ophthalmica, кровоснабжающих сетчатку, а также изменяющих уровень функциональной нейронной активности других структур зрительной системы. В то же время нельзя исключать возможность влияния на световую чувствительность испытуемых изменения у них характера СГ. Т. Nagaoka с соавт. [14] с использованием метода лазерной Доплеровской велосиметрии у 16 здоровых добровольцев было показано двухфазное изменение характера кровотока в крупных ветвях а. centralis retinae при локальном воздействии холода. Первую фазу, характеризующуюся увеличением объемного кровотока в сетчатке, авторы связывали с быстрым повышением уровня среднего артериального

давления в большом круге кровообращения, тогда как во второй фазе было отмечено реактивное уменьшение диаметра ветвей центральной артерии сетчатки с восстановлением кровотока до исходного уровня.

Хорошо известно, что уровень АДдиа зависит в первую очередь от тонуса резистивных сосудов, в то время как АДсгд определяется характером гемодинамики в целом, в том числе, в значительной степени, и на уровне микроциркуляторного русла (МЦР) [8]. Исходя из предположения, что состояние кровотока в сетчатке может быть обусловлено соотношением характера системного кровотока и тонуса ее артериальных сосудов малого и среднего калибра, нами был проведен анализ изменения СГ в условиях локального температурного воздействия на кисть руки. Характеристика основных параметров СГ у испытуемых на всех этапах исследования представлена в таблице 1.

Таблица 1

Основные показатели СГ испытуемых

Группа	Этап	Показатель СГ	Исходные значения, мм рт. ст.	$D_1^1, \%$	$D_1^2, \%$
1 (n=24)	Контроль	АДдиа	77.2±2.04	+0.8±1.05	-0.4±1.39
		АДсгд	92.8±1.96	+1.6±1.14	+0.9±1.15
	Тепловое возд.	АДдиа	76.1±1.82	+3.0±2.28	-1.5±1.22
		АДсгд	91.7±1.99	+2.6±2.21	1.1±1.09
	Холодовое возд.	АДдиа	80.3±1.98	+3.1±2.10	+3.4±2.63
		АДсгд	95.3±2.03	+5.9±1.78	+3.2±1.68
2 (n=37)	Контроль	АДдиа	76.5±1.81	-1.5±1.67	-2.6±1.38
		АДсгд	91.0±1.74	-1.2±1.66	-1.9±1.26
	Тепловое возд.	АДдиа	73.4±1.59	-0.5±3.25	-0.4±2.17
		АДсгд	87.9±1.55	+0.1±2.51	+1.2±1.90
	Холодовое возд.	АДдиа	74.0±1.29 [*]	+9.0±2.44 [†]	+8.1±2.22 [‡]
		АДсгд	88.5±1.44 [*]	+7.8±2.14 [†]	+6.9±1.99 [‡]
3 (n=10)	Контроль	АДдиа	78.8±1.91	-2.7±1.73	-7.3±2.52 [‡]
		АДсгд	93.0±2.15	-1.2±1.64	-6.5±2.03 [‡]
	Тепловое возд.	АДдиа	82.4±4.81	-5.6±2.70 [†]	-10.8±3.17 [‡]
		АДсгд	96.4±4.41	-5.4±2.26 [†]	-9.5±2.92 [‡]
	Холодовое возд.	АДдиа	78.7±4.15	+9.0±6.34 [†]	-2.0±4.56
		АДсгд	92.4±3.70	+7.0±5.34 [†]	-1.1±3.44 [‡]

*P < 0,05 по сравнению с контрольным исследованием в группе; #P < 0,05 по сравнению с D_1 на 2-й мин исследования; †P < 0,05 по сравнению с 1-й группой; P < 0,05 по сравнению со 2-й группой.

Как видно из представленных данных, у молодых здоровых испытуемых при воздействии локальных температурных стимулов наблюдаются определенные изменения уровня АД, носящие разнонаправленный характер в различных группах. Исходные значения показателей АД, регистрировавшиеся непосредственно перед началом каждого этапа исследования, не различались в пределах данной группы на всех этапах исследования, что свидетельствует о выполнении условия стационарности гемодинамики у испытуемых всех трех групп на момент начала очередного этапа исследования. При сравнении исходного уровня АДдиа и АДсгд между испытуемыми 2-й и 3-й групп были выявлены значимые различия этих показателей (P<0,05). У испытуемых 2-й группы оказался исходно более высокий ПС, который снижался после температурного воздействия, при том что величина АДдиа и АДсгд у них перед началом исследования была относительно низкой. В 3-й же группе испытуемых, характеризующихся более низким ПС в контрольном исследовании, величина

АДдиа и АДсгд перед началом исследования была относительно высокой. Наличие корреляции между ПС и показателями АД (коэффициент линейной корреляции r_{xy} между АДсгд и ПС в ходе ЛТВ составил: у испытуемых 1-й группы – -0,48, 2-й группы – -0,49 и 3-й группы – -0,44) может свидетельствовать о зависимости световой чувствительности от кровотока в сетчатке, связанного с системным кровотоком.

Хорошо известно, что световая чувствительность зрительной системы определяется прежде всего функциональным состоянием фоторецепторов, способных реагировать на отдельные кванты света [3]. Учитывая, что определение ПС проводилось после полной темновой адаптации в светоизолированной камере, можно предполагать, что за восприятие световых стимулов в первую очередь отвечали палочковые фоторецепторы. Поскольку в условиях максимальной чувствительности фоторецепторов она у них избирательно изменялась при действии температурных стимулов, можно также предполагать, что состояние чувствительности фоторецепторов в темноте зависело и от действия на них ряда факторов, в том числе и от состояния тонуса резистивных сосудов и показателей СГ в покое и в условиях действия тепла и холода.

Подтверждением данного предположения служат выявленные в ходе исследования изменения показателей СГ. В 1-й группе испытуемых, характеризующейся отсутствием значимых изменений ПС, не было выявлено сколь либо значительных изменений показателей АД как на второй мин. исследования, так и по его окончании по сравнению с контролем, за исключением прироста АДсгд на 2-й мин. исследования на 5,9 % ($P < 0,05$). Анализируя динамику этого процесса, необходимо отметить, что общая тенденция изменения уровня АД проявлялась его приростом на 2-й мин. исследования, обусловленным умеренной активацией симпатической нервной системы, с последующим возвратом уровня АД к исходным значениям на момент окончания исследования. Факт активации СНС подтверждается достоверным уменьшением показателя SDNN в процессе исследования как в контрольном исследовании, так и при выполнении холодной пробы (рис. 2). Значение SDNN после окончания исследования в контроле возвращалось к исходному уровню, а при действии тепла и в большей степени холода было выявлено его увеличение, что может отражать снижение тонуса СНС и усиление влияния парасимпатической нервной системы (ПНС).

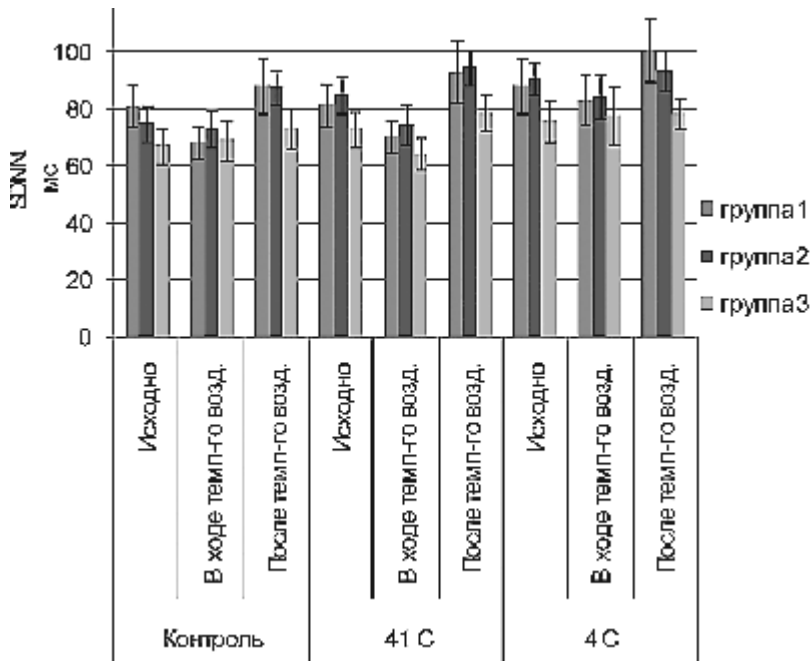


Рис. 2. Динамика SDNN в условиях локального температурного воздействия

У испытуемых 2-й группы отмечался стабильный характер АД в контрольном исследовании и при действии теплового стимула с некоторой тенденцией к понижению показателей, в то время как при действии холода наблюдался заметный прирост как АДдиа, так и АДсгд, сохранявшийся на протяжении всего исследования. Изменения тонуса АНС были подобны таковым у испытуемых 1-й группы (рис. 2). В 3-й группе испытуемых отмечалась выраженная тенденция к понижению показателей СГ за исключением изменения уровня АД в ходе холодого воздействия. Только в этой группе наблюдался значимый прирост показателей СГ на 2-й мин холодого воздействия, его возврат к исходному уровню и даже понижение к моменту окончания данного этапа исследования. Испытуемые этой группы характеризовались более высоким уровнем тонуса СНС и большей ригидностью показателя SDNN ($C_v = 7,21\%$) по сравнению с обследуемыми 1-й и 2-й группами ($C_v = 12,28\%$ и $9,88\%$ соответственно), особенно в ходе выполнения холодого пробы (рис. 2).

Полученные результаты в определенной степени можно объяснить, опираясь на данные о динамике изменений кровотока в сетчатке после холодого воздействия, описанные Т. Nagaoka и соавт. [14]. Можно предполагать, что в покое и в течение первой половины температурного воздействия, на кровоток в сетчатке, а следовательно и на степень светочувствительности зрительной системы, в большей степени влияет изменение системного кровотока и в меньшей – тонус артериальных сосудов сетчатки среднего и малого калибра, во второй же половине воздействия тонус резистивных сосудов как фактор, определяющий характер кровотока в сосудах МЦР глаза выходит на передний план. Соотношение влияния этих двух факторов на кровоток определяется сложной системой регуляции системного и местного кровотока в сетчатке, включающей как изменение тонуса АНС, так и системы локальной регуляции с участием механизмов миогенной и метаболической регуляции тонуса гладких миоцитов сосудов. Важную роль играет в этом соотношении влияние нейромедиаторов и нейромодуляторов, локально высвобождаемых эфферентными окончаниями нервных волокон других уровней зрительной системы. [9,10,12,13,14].

Вместе с тем нельзя не учитывать описанного в классических работах Р.Гранита и Г.Мэгуна влияния на световую чувствительность зрительной системы активности ретикулярной формации (РФ) ствола мозга, зависимой от тонуса симпатического отдела АНС [2,5]. Одним из неспецифических центральных эффектов активации РФ является повышение чувствительности рецепторных структур сенсорных систем, улучшение способности этих систем дифференцировать раздражители. С учетом этого более высокая исходная светочувствительность зрительной системы у испытуемых 3-й группы и более низкая во 2-й группе могут быть объяснены различием функционального состояния АНС до начала исследования.

В то же время не всегда однозначные изменения уровня АД и ПС предполагают наличие и других факторов, вероятно ауторегуляторной природы, влияющих на кровотоки в зрительной системе и в первую очередь в сетчатке. Можно предположить, что у испытуемых 2-й группы повышение световой чувствительности явилось также следствием дополнительного облегчающего центрального воздействия на фоторецепторы сетчатки и улучшения кровотока в ней в большей степени за счет улучшения системного кровотока, а также за счет ауторегуляторного расширения ее сосудов. У испытуемых 1-й группы, имевших большую исходную световую чувствительность, чем у испытуемых 2-й группы, изменений световой чувствительности могло не произойти из-за более слабого облегчающего центрального влияния, более тонкой настройки тонуса АНС, меньшего изменения уровня системного АД, и отсутствия по этой причине ауторегуляторного расширения сосудов сетчатки.

Данные о снижении световой чувствительности у испытуемых 3-й группы, имевших наиболее высокую исходную светочувствительность, представляют наибольший интерес. Реакция их зрительной системы на действие тепла и холода может быть объяснена как парадоксальной реакцией АНС на действие стрессорного температурного фактора, что проявилось как в недостаточности облегчающего центрального влияния на чувствительность фоторецепторов сетчатки, так и наличием у них предрасположенности к вазоспазму сосудов сетчатки, который приводил в условиях действия тепла и холода к сужению ее сосудов и метаболически обусловленному снижению световой чувствительности.

Выводы

1. Выявленные изменения светочувствительности зрительной системы в условиях воздействия тепла и холода обусловлены влиянием ряда факторов разнонаправленного действия.
2. Пороги светочувствительности зрительного анализатора зависят как от тонуса АНС, функционального состояния центральной нервной системы в целом, так и от характера системного и локального кровотока, динамики изменения кровотока в сетчатке и тонуса ее сосудов в процессе температурного воздействия.
3. Изменение порогов светочувствительности можно рассматривать как один из чувствительных интегральных показателей состояния зрительной системы, отражающий характер реакции АНС и сосудов сетчатки на внешние температурные воздействия.

Литература

1. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) / Р. М. Баевский [и др.] // Вестник аритмологии. 2001. № 24. С. 65 – 87.

2. Гранит, Р. Электрофизиологическое исследование рецепции (пер. с англ.) / Р. Гранит. М.: Издательство иностранной литературы, 1957. 339 с.
3. Каламкаров, Г. Р. Молекулярные механизмы зрительной рецепции / Г. Р. Каламкаров, М. А. Островский. М.: Наука, 2002. 279 с.
4. Кубарко, А. И. Система компьютерного тестирования функций зрительного анализатора / А. И. Кубарко [и др.] // Теория и практика медицины: научно-практический ежегодник. Вып. 3. Минск, 2002. С. 195 – 197.
5. Мэгун, Г. Бодрствующий мозг / Г. Мэгун. 2-е изд. (пер. с англ.). М.: Мир, 1965. 211 с.
6. Changes in glucose level affect rod function more than cone function in the isolated, perfused cat eye / C. Macaluso [et al.] // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 1992. Vol. 33. P. 2798 – 2808.
7. Gherghel, D. Abnormal systemic and ocular vascular response to temperature provocation in primary open-angle glaucoma patients: a case for autonomic failure? / D. Gherghel [et al.] // Invest. Ophthalm. Vis. Sci. 2004. Vol. 45. P. 3546 – 3554.
8. Klabunde, R. E. Cardiovascular Physiology Concepts / R. E. Klabunde – Lippincott Williams & Wilkins, 2004. 256 p.
9. Long Posterior Ciliary Arterial Blood Flow and Systemic Blood Pressure / O. Hirofumi [et al.] // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 1990. Vol. 31. P. 819 – 826.
10. Nervous Control of the Eye / G. Burnstock [et al.]; Ed. G. Burnstock and A.M. Sillito. – Amsterdam: Informa Healthcare, 2000. 320 p.
11. Ocular blood flow and retinal metabolism in abyssinian cats with hereditary retinal degeneration / S.F.E. Nilsson [et al.] // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2001. Vol. 42. P. 1038 – 1044.
12. Peptidergic innervation of the retinal vasculature and optic nerve head / X.D. Ye [et al.] // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 1990. Vol. 31. P. 1731 – 1737.
13. Regulation of Retinal and Optic Nerve Blood Flow / A. Harris [et al.] // Arch. Ophthalmol. 1998. Vol. 116. P. 1491 – 1495.
14. Retinal artery response to acute systemic blood pressure increase during cold pressor test in humans / T. Nagaoka [et al.] // Invest. Ophthalm. Vis. Sci. 2002. Vol. 43. P. 1941 – 1945.