

ВЛИЯНИЕ АКТИВАЦИИ ЦИРКАДИАНЫХ ЧАСОВ ЧЕЛОВЕКА В РАННИЕ УТРЕННИЕ ЧАСЫ НА ПСИХОСОМАТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

^{1,2} Пятин В.Ф., ^{1,2}Сергеева М.С., ¹Коровина Е.С., ¹Кирасирова Л.А.

¹ГБОУ ВПО «Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Самара, Россия (443099 Самара, ул. Чапаевская 89), e-mail: pyatin_vf@list.ru;

² Центр прорывных исследований «Информационные технологии в медицине» СамГМУ

Циркадианным регулятором у человека является максимум спектра излучения видимого света в области 480 нм, который присутствует в естественной солнечной освещенности в ранние утренние и ранние вечерние часы. Цель работы - исследовать психосоматические ответы у человека на световую экспозицию в области максимальной световой чувствительности фоторецепторных ганглиозных клеток сетчатки. При 5-30 мин световой экспозиции с максимумом огибающей в области 480 нм получены коротколатентные вегетативные (увеличение продолжительности кардиоинтервала, мощности и процента низкочастотного компонента спектра вариабельности сердечного ритма, уменьшение величины систолического артериального давления), психоэмоциональные (увеличение субъективной оценки самочувствия, активности, настроения) и когнитивные (увеличение значения коэффициента точности) ответы. Полученные результаты указывают на возможность быстрой коррекции вегетативного и психоэмоционального фона человека с помощью нового источника светового излучения с максимумом огибающей в области 480 нм и открывает возможности для исследования гормональных, физиологических и поведенческих ответов и их прикладного значения в лечении десинхронозов, оптимизации функционального состояния для решения задач образования и профессиональной деятельности человека.

Ключевые слова: циркадианная система, самочувствие, активность, настроение, внимание, вариабельность сердечного ритма (BCP), кардиоинтервал, голубой спектр света.

THE EFFECT OF THE ACTIVATION OF CIRCADIAN CLOCK IN THE EARLY MORNING ON THE HUMAN PSYCHOSOMATIC INDICATORS

^{1,2}Pyatin V.F., ^{1,2}Sergeeva M.S., ¹Korovina E.S., ¹Kirasirova L.A.

¹Samara State Medical University, Samara, Russia (443099, Samara, street Chapaevskaya, 89), e-mail: pyatin_vf@list.ru;

²Center for breakthrough research "Information Technology in Medicine" SamSMU

Based on the fact that the circadian regulator in humans are a maximum of the emission spectrum in the visible light region of 480 nm, which is present in natural sunlight in the early morning and early evening hours, the authors set the goal to investigate the psychosomatic responses in human exposure to light in the area of maximum light sensitivity photosensitive retinal ganglion cells. At 5-30 minutes of light exposure with the maximum of the envelope in the field of 480 nm obtained by vegetative short-latency (prolongation kardiointervala, power and percent low-frequency component of the spectrum of heart rate variability, a reduction in the systolic blood pressure), psycho-emotional (an increase of subjective evaluation of health, activity, mood) and cognitive (increased values of accuracy) answers. The results indicate the possibility of a quick correction of vegetative and psycho-emotional background of a man using a new source of light with a peak envelope in the 480 nm and opens possibilities for research of hormonal, physiological and behavioral responses and their practical importance in the treatment of desynchronization, optimize the functional state to solve problems education and training of human activity.

Keywords: circadian system, health, activity, mood, attention, heart rate variability (HRV), kardiointerval, blue light spectrum.

Внешние циклические природные колебания освещенности воспринимаются специфическими фоторецепторными ганглиозными клетками сетчатки, которые не связаны с функцией зрения [1, 6]. Функциональная активность циркадианных фоторецепторов сетчатки взаимосвязана как со спектром света, так и уровнем освещенности. Исследованиями показано, что максимальную чувствительность фоторецепторные

ганглиозные клетки сетчатки имеют в области 480 нм. Этот спектр доминирует в утренние часы в естественной солнечной освещенности (6.00-10.00 часов утра), а также в вечернее время. Активация циркадианной системы мозга человека в этих условиях сопровождается увеличением секреции кортизола и серотонина, а также ГАМКергической и дофаминергической систем. При свете дня модулируется синтез и секреция фолитропина в передней доле гипофиза, ганстрин-рилизинг гормона и нейропептида Y, а также тиреотропина. Некоторые нейрогормоны циркадианного ритма человека секретируются только в темноте ночью в период с 22.00 до 3.00 часов: мелатонин, вазоактивный интестинальный пептид и гормон роста [9]. Поэтому если речь идет о клинически вызванном ответе на световое воздействие, то важно знать спектр источника света и «циркадианное» время экспозиции в течение дня.

В приведенных в литературе исследованиях предпринимаются попытки воздействия на циркадианные часы человека посредством световых экспозиций с длиной волны, только приближающейся к спектру максимальной чувствительности фоторецепторов циркадианной системы. Кроме того, для исследования причин десинхронозов, способов повышения эффективности когнитивных процессов при выполнении ночных работ в подавляющем большинстве исследований световая экспозиция применяется либо ночью и / или после длительного бодрствования, когда увеличена чувствительность биологической системы к свету.

Исходя из того, что циркадианным регулятором у человека является максимум спектра излучения видимого света в области 480 нм, который присутствует в естественной солнечной освещенности в ранние утренние и ранние вечерние часы [6], нами поставлена цель исследовать психосоматические ответы у человека на световую экспозицию в области максимальной световой чувствительности фоторецепторных ганглиозных клеток сетчатки.

Материал и методика

В исследовании приняло участи 28 студентов-добровольцев Самарского государственного медицинского университета в возрасте 18–20 лет в возрасте. Из этих участников рандомизированно были образованы контрольная (КГ, n=14) и экспериментальная (ЭГ, n=14) группы. Так как обучение в высшей медицинской школе сопряжено с развитием психологического стресса у студентов [2], нами проводилось исследование стиля жизни и уровня стрессоустойчивости испытуемых (тест «Стиль жизни и стрессоустойчивость», тест на учебный стресс, Бостонский тест на стрессоустойчивость).

Исследование проводилось в период с 13 января по 19 января 2015 г. в утренние часы до восхода солнца, время которого на широте г. Самара в этот период времени года – 07:49:27 (13.01.2015 г.) и 07:43:41 (19.01.2015 г.). Освещенность комнаты на уровне глаз испытуемых

составляла в среднем 135 Лк, а яркость – 400 кД/м². Измерение освещенности и яркости проводили с использованием прибора ТКА-ПМК (02), зарегистрированного в реестре средств измерений 24248-09 (Россия).

Психофизиологическое тестирование проводилось дважды – в начале (I этап исследования) и в конце исследования (III этап исследования). Общепринятыми методами тестирования определялись следующие психофизиологические характеристики студентов: ситуативная тревожность (тест Спилбергера – Ханина), самочувствие, активность, настроение (тест САН), параметры внимания и зрительного восприятия с помощью корректурных таблиц Анфимова.

У испытуемых КГ интервал времени между тестированиями (между I и III этапами исследования) составлял 30 мин. Испытуемые ЭГ после I этапа исследования в течение последующих 30 мин использовали «Устройство для нормализации биоритмов» [5]. Электронный девайс для адекватной стимуляции меланопсин-содержащие ганглиозные клетки сетчатки представляет собой прибор, излучающий световой поток с максимумом огибающей в области 480 нм [4, 5]. Диапазоны регулируемой освещенности и яркости светового потока электронного девайса составляют: min – 140 Лк/145 кД/м²; max – 1650 Лк/875 кД/м². По окончании 30 мин применения электронного девайса испытуемые вновь выполняли тестовые задания на когнитивные и психоэмоциональные показатели (III этап исследования).

Регистрацию артериального давления и вариабельности сердечного ритма (ВСР) производили у студентов ЭГ трижды: в начале исследования (I этап исследования) - запись фоновых значений ВСР в течение 5 мин; запись в течение 5 мин параметров ВСР в период воздействия на сетчатку глаз световым потоком 480 нм (II этап исследования); запись параметров ВСР в течение 5 мин после светового воздействия на сетчатку глаз (III этап исследования). На всех трех этапах испытуемые находились с открытыми глазами. Запись кардиоинтервалограммы производили с помощью пульсоксиметра «ЭЛОКС-01С3» с оптическим пальцевым датчиком (Россия). Непосредственно перед записью ВСР испытуемые находились в состоянии покоя сидя в ЭЭГ-кресле (Neurobotics, Россия) в течение 10 минут.

Полученные данные обрабатывались статистически с помощью IBM SPSS Statistics 22. Достоверность измерений оценивалась параметрическими (t-тест Стьюдента для зависимых и независимых выборок) и непараметрическими (t-тест Вилкоксона для зависимых выборок и критерий Манна–Уитни для независимых выборок) методами. Статистически значимыми изменения средних величин считались при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ стиля жизни и стрессоустойчивости студентов ЭГ и КГ не выявил межгрупповых различий и показал наличие у испытуемых психологического стресса, что можно объяснить окончанием учебного семестра и приближением зимней экзаменационной сессии. Характер изменения уровня постоянного стресса за последние три месяца учебы 60% испытуемых КГ и 50% студентов ЭГ оценили как “значительное увеличение”. Эти результаты соответствуют ранее полученным нами данным [2].

На I этапе исследования нами не обнаружены межгрупповые различия ЭГ и КГ по ситуативной тревожности, самочувствию, активности, настроению (табл. 1).

Таблица 1

Средние значения ситуативной тревожности, самочувствия, активности, настроения студентов ($M \pm m$)

Параметры	Группы испытуемых			
	ЭГ		КГ	
	I этап	III этап	I этап	III этап
Тревожность	49,75 ± 11,65	47,13 ± 11,41	59,67 ± 8,08	64,89 ± 8,31*
Самочувствие	39,38 ± 10,80	51,25 ± 8,47**	42,89 ± 7,81	39,00 ± 11,35
Активность	39,25 ± 10,24	48,13 ± 6,83*	43,44 ± 9,34	40,78 ± 9,22
Настроение	43,75 ± 12,02	50,00 ± 8,67*	40,56 ± 10,03	38,78 ± 7,68

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Воздействие коротковолнового излучения привело к увеличению показателей самочувствия на $30,14 \pm 6,43\%$ ($p < 0,01$), активности на $22,62 \pm 4,53\%$ ($p < 0,05$) и настроения на $14,29 \pm 1,24\%$ ($p < 0,05$) у испытуемых ЭГ. Ситуативная тревожность у студентов ЭГ при этом практически не изменилась, а в КГ увеличилась на $8,75 \pm 0,35\%$ ($p < 0,05$).

На III этапе исследования нами были обнаружены межгрупповые различия по самочувствию ($p < 0,05$), настроению ($p < 0,05$), ситуативной тревожности ($p < 0,01$).

Представленные результаты позволяют сделать заключение о том, что адекватная стимуляция фоторецепторов циркадианной системы оптимизирует функциональное состояние организма человека в период бодрствования.

Параметры внимания и зрительного восприятия у студентов обеих групп нами исследовались с помощью корректурных таблиц Анфимова. Анализировалась динамика средних значений коэффициента точности (А), коэффициента умственной продуктивности (Р), объема зрительной информации (Q), скорости переработки информации (СПИ), устойчивость внимания (УВН) (табл. 2).

Таблица 2

Средние значения когнитивных параметров студентов ($M \pm m$)

Параметры	Группы испытуемых			
	ЭГ		КГ	
	I этап	III этап	I этап	III этап
А	0,89 ± 0,09	0,96 ± 0,06***	0,96 ± 0,05	0,96 ± 0,05

P	187,83 ± 44,40	191,86 ± 36,92	186,12 ± 20,79	198,52 ± 30,37**
Q, бит	125,14 ± 25,55	118,98 ± 22,29	115,44 ± 16,81	123,07 ± 17,92**
СПИ, бит/с	1,84 ± 0,44	1,88 ± 0,38	1,83 ± 0,31	1,95 ± 0,31**
УВН	4,41 ± 0,65	4,11 ± 0,56**	4,27 ± 0,42	4,18 ± 0,47

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

После 30-минутной световой экспозиции с максимумом огибающей в области 480 нм у испытуемых ЭГ нами обнаружено увеличение значения коэффициента точности на $7,87 \pm 0,34$ % ($p < 0,01$), который достоверно увеличивался на 2-й, 3-й, 4-й, 5-й, 8-й и 10-й минутах работы с корректурными таблицами ($p < 0,05$). Тогда как у студентов КГ коэффициент точности на III этапе исследования практически не изменился относительно исходного состояния.

Параметры внимания и зрительного восприятия, связанные с объемом и скоростью обработки информации, на III этапе исследования достоверно увеличивались в КГ. Устойчивость внимания уменьшалась у испытуемых обеих групп (табл. 2).

Полученные нами данные согласуются с литературными данными о повышении субъективного благополучия, настроения и активности, также когнитивных функций, облегчении процесса пробуждения при световой экспозиции до рассвета искусственным широкополосным полихроматическим источником света в течение 50 мин (от 0 до 250 лк). В других исследованиях сине-обогащенный свет (17 000 К) во время работы в офисе в течение 4-х недель вызывал улучшение субъективных оценок бодрствования, настроения, производительности, повышение концентрации внимания, качество ночного сна, снижал дискомфорт глаз, субъективную усталость вечером, раздражительность [10].

На следующем этапе нашей работы мы анализировали кардиоинтервалографию на основе комплекса показателей variability сердечного ритма (VCP): частота сердечных сокращений (ЧСС), продолжительность интервала (NN), индекс напряжения регуляторных систем по Р.М.Баевскому (ИН), общая мощность спектра VCP (TP), составляющие спектра VCP – высокочастотный компонент (HF, диапазон 0,15-0,40 Гц, период 2,0 – 6,6 сек), низкочастотный компонент (LF, диапазон 0,04-0,15 Гц, период 6,6 – 20,0 сек) и колебания очень низкой частоты (VLF, диапазон 0,003-0,04 Гц, период 1-2 мин) (табл. 3).

Таблица 3

Средние значения показателей VCP и артериального давления ($M \pm m$)

Параметры	Этапы исследования		
	I этап	II этап	III этап
NN, мс	817,88 ± 28,80	854,13 ± 34,82*	846,88 ± 30,57
ЧСС, уд/мин	72,43 ± 3,33	70,14 ± 3,76*	70,00 ± 3,09*
ИН, усл. ед	33,13 ± 7,83	34,25 ± 8,58	25,63 ± 3,46
TP, мс ²	8370,1 ± 1551,63	8273,63 ± 1636,55	9585,5 ± 1055,01
VLF, мс ²	2663,88 ± 561,61	2004,51 ± 325,41	2757,75 ± 491,73

LF, мс ²	2627,88 ± 625,94	3014,63 ± 808,81	3668,63 ± 571,65*
HL, мс ²	3078,01 ± 762,68	3254,38 ± 1180,11	3158,63 ± 888,22
LF, %	46,88 ± 4,88	52,63 ± 7,34	57,63 ± 5,93*
HL, %	53,13 ± 4,88	47,38 ± 7,34	42,38 ± 5,93*
СД, мм рт ст	115,11 ± 2,91	108,44 ± 2,07**	109,22 ± 2,84*
ДД, мм рт ст	74,78 ± 3,82	72,11 ± 3,26	71,44 ± 3,43

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

В течение 5-минутной световой экспозиции с максимумом огибающей в области 480 нм у испытуемых ЭГ отмечалось уменьшение ЧСС на II (на $3,16 \pm 0,02\%$, $p < 0,05$) и III (на $3,35 \pm 0,02\%$, $p < 0,05$) этапах исследования по сравнению с фоном. Продолжительность кардиоинтервала на II и III этапах увеличивалась на $4,43 \pm 0,03\%$ ($p < 0,05$) и $3,55 \pm 0,02\%$. Выявленный острый эффект увеличения NN был статистически достоверно выражен в течение первых 3 мин II этапа и в течение первой минуты III этапа исследования.

Индекс напряжения регуляторных систем по Р.М.Баевскому, характеризующий состояние адаптационных реакций организма в целом, достоверно уменьшался в течение первых минут II и III этапов по отношению к I этапу.

Адекватная стимуляция меланопсин-содержащих ганглиозных клеток сетчатки вызывала увеличение мощности и процента низкочастотного компонента ВСР и уменьшение процента высокочастотных колебаний спектра ВСР ($p < 0,05$) (табл. 3). Изменения в очень низкочастотном диапазоне спектра ВСР не были статистически достоверными.

После 5-минутной стимуляции рецепторного отдела циркадианной системы уменьшалась величина систолического артериального давления на $5,79 \pm 0,01\%$ ($p < 0,01$) на II этапе и на $5,12 \pm 0,01\%$ ($p < 0,05$) на III этапе исследования по сравнению с фоном. Уменьшение диастолического давления не было статистически достоверным.

Воздействие голубым светом длиной 480 нм привело к коротколатентным вегетативным ответам, проявившимся в увеличении продолжительности кардиоинтервала, увеличении мощности низкочастотного компонента ВСР и процента LF от суммарной мощности колебаний, уменьшении процента высокочастотных колебаний спектра ВСР и уменьшении величины систолического артериального давления.

Описанные острые вегетативные, психоэмоциональные и когнитивные ответы на адекватную стимуляцию меланопсин-содержащих ганглиозных клеток сетчатки возможно является проявлением особенностей их структурно-функциональных связей со структурами мозга. В составе ретино-гипоталамического тракта аксоны фоточувствительных ганглиозных клеток сетчатки проходят с частичным перекрестом к нейронам вентролатеральной «зоны входа» парных СХЯ и супраоптических ядер, а также к вентролатеральным преоптическим ядрам и к вентральным субпаравентрикулярным зонам гипоталамуса [8]. Предполагается, что проекции фоточувствительных ганглиозных клеток сетчатки каудальнее СХЯ, в

частности в вентральную субпаравентрикулярную зону могут обеспечивать прямые входы от меланопсин-содержащих ганглиозных клеток сетчатки к нейронам гипоталамуса, которые осуществляют контроль вегетативных функций организма человека [6, 7].

Кроме того, аксоны фоторецепторных ганглиозных клеток направляются к нейронам латерального коленчатого тела, претектальную область, дорсальные ядра шва, медиальной части миндалины и др. [8]. Большинство перечисленных центров образуют, наряду с ретино-гипоталамическим трактом, основную часть входов СХЯ по принципу обратной связи. Описаны проекции от нейронов СХЯ к холинергическим и аминергическим нейронам ствола головного мозга, к орексиновым группам клеток латерального гипоталамуса. Представленные структурно-функциональные связи циркадианной системы обуславливают полученный нами острый вегетативный, психоэмоциональный и когнитивный ответы на адекватную стимуляцию меланопсин-содержащих ганглиозных клеток сетчатки.

Заключение

Световая экспозиция с максимумом огибающей в области 480 нм в ранние утренние часы в зимнее время года вызывает переключению «ночных часов» на «дневные часы» в организме человека, на что указывает повышение уровня бодрствования.

Наши результаты указывают на возможность быстрой коррекции вегетативного и психоэмоционального фона человека с помощью нового источника светового излучения с максимумом огибающей в области 480 нм [4, 5] и открывает возможности для исследования гормональных, физиологических и поведенческих ответов и их прикладного значения в лечении десинхронозов, оптимизации функционального состояния для решения задач образования и профессиональной деятельности человека [3].

Список литературы

1. Пятин В.Ф., Сергеева М.С., Широлапов И.В. Моргание как механизм контроля освещенности сетчатки и функции ее фоточувствительных ганглиозных клеток // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2014. - № 4. Материалы X Международного междисциплинарного Конгресса «Нейронаука для медицины и психологии» и научной школы «Достижения нейронаук в начале XXI века» – С. 67-68.
2. Пятин В.Ф., Сергеева М.С., Коровина Е.С., Шалдыбина Ю.Э., Меркулова С.В. Активация проприоцептивной сенсорной системы уменьшает проявления психологического стресса у студентов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. - № 6; URL: <http://www.science-education.ru/120-15512> (дата обращения: 23.11.2014).

3. Способ нормализации циркадианных ритмов человека: пат. № 2533965 Рос. Федерации от 27.11.2014.
4. Устройство для воздействия на циркадианные часы человека: пат. №124148 Рос. Федерация от 20.01.2013.
5. Устройство для воздействия на биоритмы человека: пат. №128494 Рос. Федерации от 27.05.2013.
6. Berson D.M. Strange vision:ganglion cells as circadian photoreceptors // Trends Neurosci. – 2003. Vol. 26. №6. – P. 314-320.
7. Cajochen C., Munch M., Kobiacka S., Krauchi K., Steiner R., Oelhafen P., Orgul S., Wirz-Justice A. High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light // J. Clin. Endocrinol. Metab. – 2005. Vol. 90. № 3. –P.1311-1316
8. Lockley S.W., Brainard G.C., Czeisler C.A. High sensitivity of the human circadian melatonin rhythm to resetting by short wavelength light // J. Clin. Endocrinol. Metab. – 2003. Vol. 88. № 9. –P.4502 – 4505.
9. Rea M.S., Bierman A., Figueiro M.G., Bullough J.D. A new approach to understanding the impact of circadian disruption on human health // J. Circadian Rhythm. – 2008. Vol. 6. – P. 1-14.
10. Viola A.U., James L.M, Schlangen L.M., Dijk D.J. Blue-enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance and sleep quality // Scand J Work Environ Health – 2008. Vol. 34: –P. 297–306.

Рецензенты:

Мирошниченко И.В., д.м.н., профессор, заведующий кафедрой нормальной физиологии ГБОУ ВПО «Оренбургская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Оренбург;

Ведясова О.А., д.б.н., профессор, профессор кафедры физиологии человека и животных ФГОУ ВПО «Самарский государственный университет», г. Самара.