

Устройство коррекции циркадианных ритмов человека*О.И. Антипов¹, И.И. Булатов¹, А.В. Захаров², В.Ф. Пятин², В.А. Неганов¹*

¹ Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики
443010, Российская Федерация, г. Самара
ул. Л. Толстого, 23

² Самарский государственный медицинский университет
443099, Российская Федерация, г. Самара
ул. Чапаевская, 89

В статье описана связь секреции мелатонина и циркадианных ритмов человека. Рассмотрено влияние синего света на выработку этого гормона. Особое внимание выделено полосе 440–460 нм, спектр излучения которой полностью приходится на спектр действия фотохимического повреждения сетчатки глаза. Приведено описание получения искусственного белого света у современных белых светодиодов. Описано современное применение светотерапии для различных целей. Авторами статьи разработано и создано устройство коррекции циркадианных ритмов человека, которое способно изменять уровень и спектральный состав света, тем самым искусственно регулировать биоритм человека в помещениях с недостаточным естественным освещением.

Ключевые слова: сетчатка, мелатонин, ганглионарные клетки, циркадианные ритмы, светотерапия.

Циркадианные или циркадные ритмы – циклические колебания интенсивности различных биологических процессов, связанные со сменой дня и ночи. Несмотря на связь с внешними стимулами, циркадные ритмы имеют эндогенное происхождение, представляя, таким образом, биологические часы организма. Практически все животные приспособляют свои физиологические и поведенческие процессы к суточным колебаниям абиотических параметров¹. Примером циркадного ритма у животных является цикл сон-бодрствование. Периоды сна и бодрствования у человека сменяются с циркадной периодичностью. Одним из наиболее эффективных внешних сигналов по сравнению с другими факторами, поддерживающих 24-часовой цикл, является свет.

В настоящее время человек вынужден большую часть светлого времени суток проводить в закрытых помещениях, в которых действие естественного света ограничено или отсутствует вовсе. Степень влияния искусственного света на наше здоровье постоянно растет из-за распространения излучающих его ламп, которые используются в жилых помещениях, офисах и на

улице. Много статей, опубликованных за прошедшее десятилетие, посвящены влиянию цвета света на секрецию мелатонина и связанными с этим последующими проблемами со здоровьем человека. Так, например, в статье [1] указано, что наиболее сильно подавляет секрецию мелатонина именно синий цвет света. И это не случайно, ведь, чаще всего, для получения белого искусственного света в светодиодных лампах используют, так называемые, «теплые» и «холодные» диоды. Дело в том, что современные белые светодиоды имеют ярко выраженную полосу излучения в сине-голубой полосе 440–460 нм. В статье [2] указано, что именно эта полоса излучения полностью приходится на спектр действия фотохимического повреждения сетчатки глаза и ее пигментального эпителия. Так же в ней отмечено, что хрусталики детей и подростков вдвое прозрачнее в сине-голубой области, чем глаза взрослых, а, значит, подвержены большей опасности. Конечно, для этого под светом надо находиться периодически и в течение длительного времени, но ведь именно это и происходит во время рабочего дня.

Получение спектра действия для секреции мелатонина дало возможность определять влияние внешних факторов на выработку гормона мелатонина, а значит, и на циркадианные ритмы [3]. Во многих отечественных и зарубежных статьях, в том числе, и в [3–5], указана защищен-

¹ Абиотическими называют различные факторы, не относящиеся к живым организмам, как благоприятные, так и вредные, находящиеся в среде, окружающей живые организмы. Сюда включают, например, атмосферу, климат, геологические структуры, количество света, уровень температур в экосистеме.

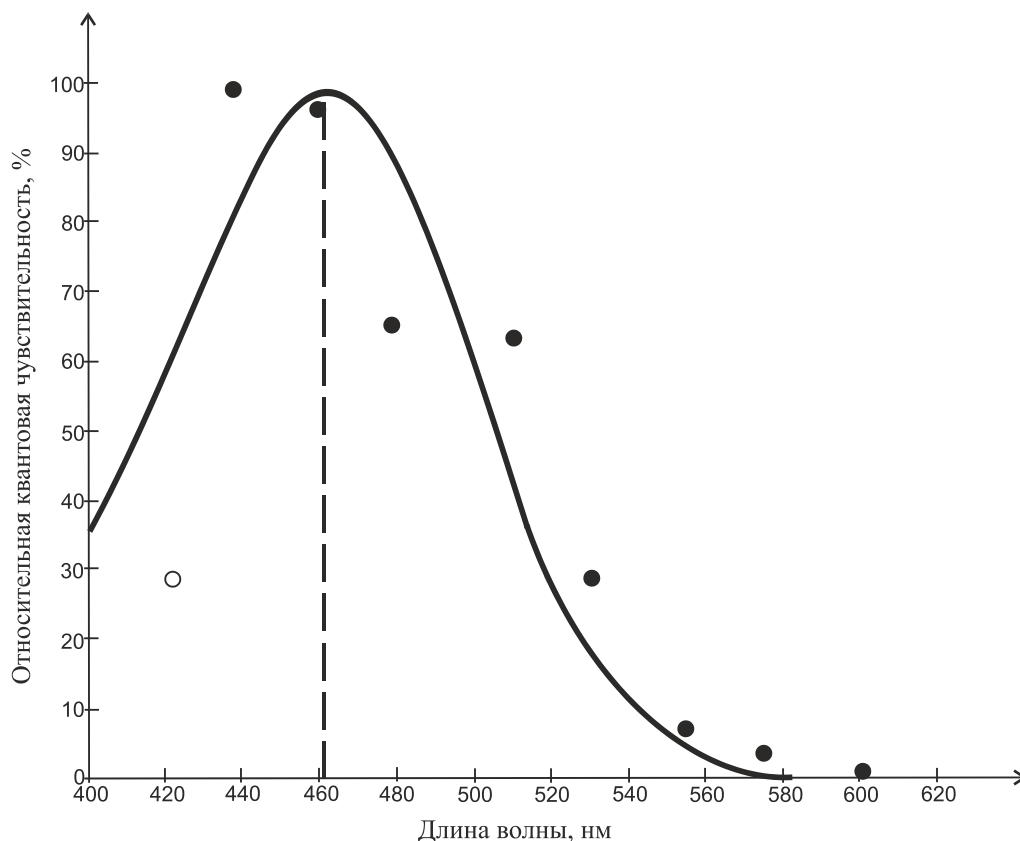


Рис. 1. Относительный спектр действия для подавления секреции мелатонина [3–5]

ная патентом кривая, приведенная на рис. 1, которая отражает влияние спектрального состава излучения на уменьшение секреции мелатонина. Согласно этой кривой, ингибирование мелатонина достигает пика при длине волны 464 нм.

Сетчатка является независимым и важным местом продукции мелатонина, по содержанию которого она стоит на втором месте после эпифиза. Давно известно, что выработка мелатонина подавляется излучением в синем диапазоне спектра с длиной волны 450–480 нм. В красном и желтом диапазонах выделение мелатонина не подавляется. Фотопигмент, открытый не так давно и названный меланопсином, локализуется в сетчатке грызунов и людей. Точнее, меланопсин находят в одном из подтипов светочувствительных ганглионарных клеток сетчатки. У человека зрительные рецепторы посылают сигнал в супрахиазмальное ядро, и дальнейшее распространение сигнала приводит к выработке гормонов, регулирующих циркадную активность организма.

Мелатонин – естественный хронобиотик, т. е. регулятор биологического ритма. Он вызывает ночное понижение температуры тела, регулирует продолжительность и смену фаз сна. Эпифизом продуцируется около 80 % циркулирующего в крови мелатонина, который сразу, путем

пассивной диффузии поступает из пинеалоцитов в кровотоки [6]. Содержание мелатонина в крови – циклично [3].

Из графика на рис. 2 видно, что вечером эпифиз начинает активно вырабатывать гормон мелатонин. Ночью наблюдается повышение его содержания в крови, с пиками во время самого глубокого сна, т. е. в медленноволновой фазе, когда головной и спинной мозг полностью отдыхают, с максимумом, примерно, в 2 часа. К 7 утра концентрация мелатонина падает. Днем же зафиксирован его суточный минимум. Выработка мелатонина может быстро прерваться при воздействии интенсивного света (особенно в синей и зеленой части спектра) на сетчатку глаз или на темечко головы. Достаточно короткого светового импульса силой 0,1–1 Люкс, чтобы подавить этот процесс.

Вслед за открытием того, что облучение здоровых людей ярким белым светом при освещенности от 2500 до 12 000 Люкс вызывает подавление секреции мелатонина шишковидной железой, исследователи вскоре пришли к выводу, что свет можно было бы использовать для лечения сезонного аффективного расстройства (САР) и для фазового сдвига циркадных ритмов человека [7]. С тех пор светотерапия получи-

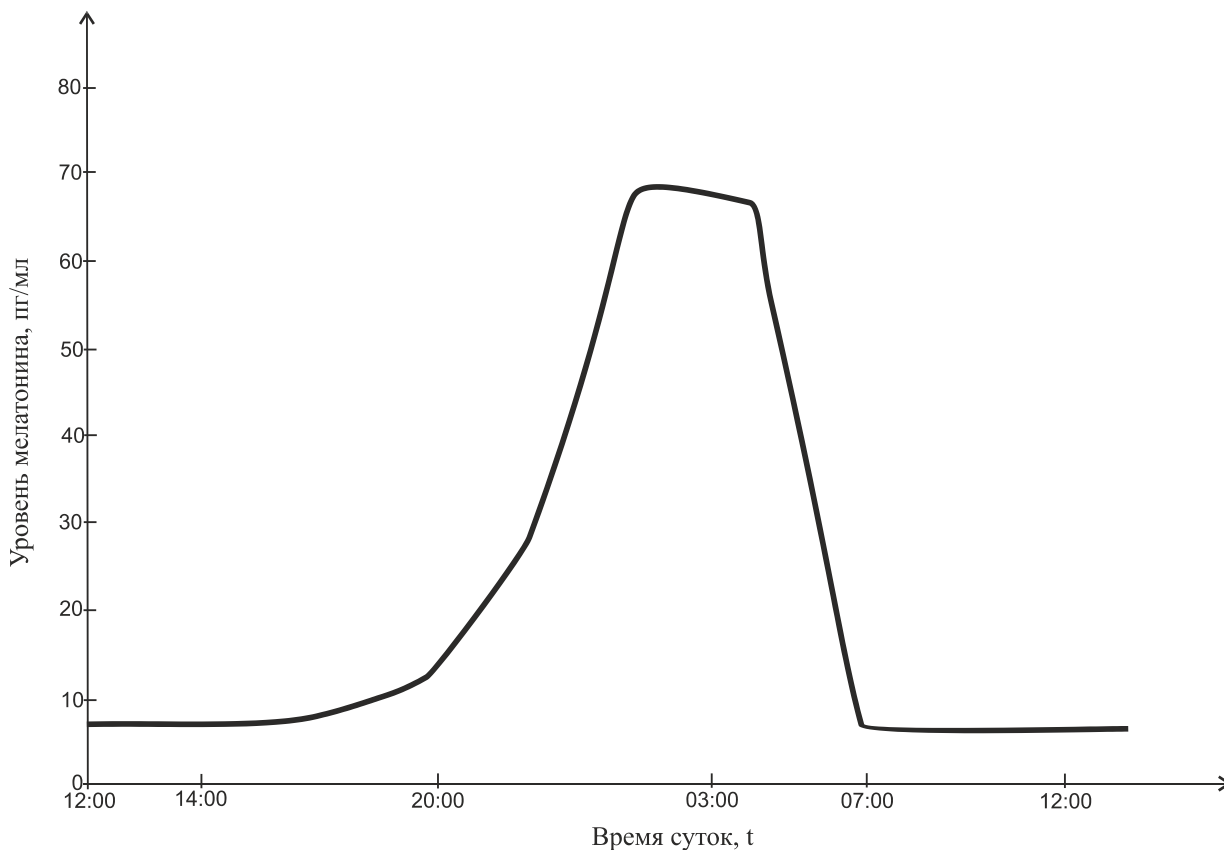


Рис. 2. Циклический график уровня мелатонина в зависимости от времени суток [3]

ла признание как эффективный метод лечения САР и его субклинического варианта. Были проведены испытания целого ряда светотерапевтических устройств, применяемых для лечения САР, включая световой бокс, имитатор рассвета и наголовные световые приборы, так называемые, световизоры. Хотя большая часть случаев клинического применения светотерапии относилась к лечению САР, исследовались и другие области применения. Исследования на астронавтах показали, что световые воздействия являются эффективным средством поддержания стабильности циркадных ритмов. Продолжаются наземные исследования, посвященные оптимизации световых режимов для терапии нарушений циркадных ритмов и сна в космических полетах. Недавние исследования по фазовому сдвигу циркадных ритмов, состоянию бодрости и светотерапии САР позволяют предполагать, что коротковолновое световое излучение может быть более эффективным лечебным средством, чем белый свет, имеющий широкий спектр и являющийся стандартным инструментом светотерапии.

Свет, как неотъемлемый элемент жизненной среды человека, несомненно, влияет на здоровье людей разного возраста, при любых видах

и условиях работы, занятий и отдыха. Воздействие света на человека определяется, с одной стороны, количественными и качественными параметрами световой среды, с другой — закономерностями физиологической оптики, возрастной анатомии, психофизиологии зрения и фотобиологии. Понятие биологического воздействия связывается с меланопсин содержащими рецепторами глазной сетчатки, сигналы от которых поступают в эпифиз и регулируют концентрацию гормона мелатонина в крови [8].

На параметры световой среды можно непосредственно влиять, регулируя параметры искусственного освещения. Создание автоматической системы регулирования освещения, изменяющей параметры световой среды в зависимости от требований и внешних факторов окружающей среды, является, в настоящее время, очень актуальным делом.

В помещениях, где естественное освещение недоступно или его недостаточно, для искусственной регуляции биоритма предлагается на протяжении рабочего дня изменять последовательно уровень и спектральный состав излучения источников света. Для решения этой задачи была создана лампа с отдельными излучателями в области 480 нм, интенсивность которых может

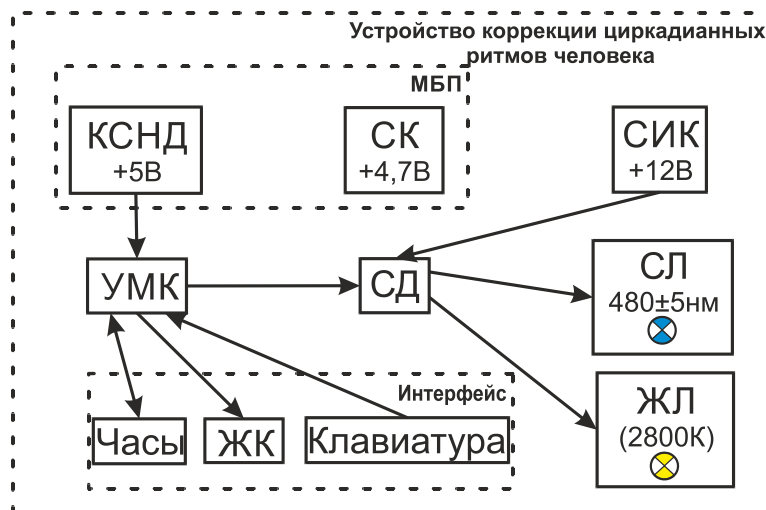


Рис. 3. Устройство коррекции циркадианных ритмов человека: УМК – управляющий микроконтроллер; СЛ – синие лампы; ЖЛ – желтые лампы; СД – силовой драйвер; ЖКД – жидкокристаллический дисплей; СИК – силовой импульсный конвертер; МБП – малошумящий блок питания; СК – стабилизированный конвертер; КСНД – компенсационный стабилизатор непрерывного действия

регулироваться. Управление лампы осуществляется автоматически, в зависимости от такого фактора, как время суток. В связи с этим, устройство содержит встроенные часы-календарь. Структура предложенного устройства изображена на рис. 3.

В данном устройстве управляющий микроконтроллер является основным управляющим элементом всей системы, а управляемые часы-календарь обладают возможностью посекундной установки времени и задания текущей даты. И синие и желтые лампы состоят из 8 высокомоощных диодов и обладают возможностью регулировки интенсивности излучения в зависимости от режима работы. У синих ламп максимум излучения лежит в диапазоне 480 ± 20 нм, а у желтых, световой спектр излучения не превышает эквивалентных параметров, соответствующих световой температуре 3200 К. Регулировка светового излучения путем последовательного подключения диодов позволила создать силовую систему с высоким КПД и малым нагревом. Управляет силовыми диодами силовой драйвер, который получает управляющий сигнал непосредственно с выводов микроконтроллера и является согласующим устройством. Осуществлять управление режимами работы лампы позволяет лицевая панель устройства, названная интерфейсом и состоящая из жидкокристаллического дисплея и управляющей клавиатуры. Она совместима с управляющим микроконтроллером и программой, управляющей им. Жидкокристаллический дисплей отображает текущую информацию. С помощью интерфейса имеется

возможность регулировки следующих параметров: времени, даты, режима работы. Также, для стабильной работы, имеется силовая и логическая части, которые обладают отдельными цепями питания. Силовой импульсный конвертер предназначен для питания осветительных светодиодов и построен на базе импульсного стабилизатора напряжения инвертирующего типа. Малошумящий блок питания является составным блоком питания для элементов схемы с цифровым уровнем. Этот блок питания предназначен для исключения влияния шумов, наводимых силовой частью всей лампы в целом на цифровые элементы, качественно чувствительных к перепадам уровней напряжения. Состоит из стабилизированного конвертера и компенсационного стабилизатора непрерывного действия. Стабилизированный конвертер является импульсным стабилизатором напряжения для согласования уровня напряжения входного источника и напряжения питания жидкокристаллического дисплея. Защищает питание дисплея от перепадов напряжения, связанного с изменением уровня освещения силовых осветительных светодиодов. Компенсационный стабилизатор непрерывного действия является малошумящим источником питания для управляющего микроконтроллера.

Заключение

Предложенное устройство коррекции циркадианных ритмов человека имеет различные режимы работы и является автоматической систе-

мой регулирования освещения, способной изменять параметры световой среды в зависимости от требований и внешних факторов окружающей среды. При функционировании устройства учтен механизм светового воздействия на гармональную выработку мелатонина световым воздействием с длиной волны 475–485 нм на ганглионарные мелансен содержащие клетки сетчатки человеческого глаза. Конструктивно предусмотрено использование его на рабочем месте в течение трудового дня. Данное устройство способно изменять последовательно уровень и спектральный состав излучения источников света, тем самым искусственно регулировать биоритм человека в закрытых помещениях, в которых действие естественного света ограничено или совсем отсутствует.

Список литературы

1. Kutin A. Is the blue light an ecological disaster? // 7 days: еженедельная газета. 20.01.2010, «Vecer», Maribor, 2010.
2. Зак П.П., Островский М.А. Потенциальная опасность освещения светодиодами для глаз детей и подростков // Светотехника. 2012. № 3.
3. Бижак Г., Кобаев М.Б. Спектры излучения светодиодов и спектр действия для подавления секреции мелатонина // Светотехника. 2012. № 3.
4. Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor / G.C. Brainard [et al.] // The Journal of Neuroscience. 2001. № 21(16). P. 6405–6412.
5. Glickman G., Levin R., Brainard G.C. Ocular input for human melatonin regulation: relevance to breast cancer // Neuroendocrinology Letters. 2002. Vol. 23.
6. Андропова Т.В., Волкотруб Л.П. Гигиеническая оценка современных источников света // Бюллетень сибирской медицины. 2010. № 5.
7. Брейнард Г.К., Провенцио И. Восприятие света как стимула незрительных реакций человека // Светотехника. 2008. № 1.
8. О биологическом эквиваленте излучения светодиодных и традиционных источников света с цветовой температурой 1800–10000 К / А.В. Аладов [и др.] // Светотехника. 2012. № 3.

The device of correction of circadian rhythms of the person

O.I. Antipov, I.I. Bulatov, A.V. Zakharov, V.F. Pyatin, V.A. Neganov

The article describes the connection between the secretion of melatonin and human circadian rhythms. The influence of blue light on the production of this hormone is considered. Particular attention is paid to the 440–460 nm band, whose emission spectrum is completely due to the spectrum of the action of photochemical damage to the retina of the eye. A description is given of the production of artificial white light in modern white LEDs. A modern application of light therapy for various purposes is described. The authors of the article developed and created a device for correcting circadian rhythms of a person that can change the level and spectral composition of light, thereby artificially adjusting the human biorhythm in rooms with insufficient natural light.

Keywords: retina, melatonin, ganglion cells, circadian rhythms, light therapy.
