

Опасность синего света

Hoya Vision Care, Нидерланды

I. Последние данные об излучении от цифровых устройств

Известно, что светодиодные (LED), газоразрядные (НID) и компактные энергосберегающие (CFL) лампы довольно интенсивно излучают высокоэнергетический свет в коротковолновом видимом диапазоне (HEVL)¹⁻³. HEVL – самый коротковолновый и высокоэнергетический диапазон видимого спектра с длинами фиолетовых, синих и голубых волн от 380 до 500-520 нм. Причем их излучают не только различные LED, флюоресцентные и другие лампы, но также и дисплеи, например, LCD и OLED дисплеи. Сегодня LED является наиболее распространенным способом подсветки экрана и доминирует при производстве дисплеев смартфонов, iPad'ов различных модификаций, экранов электронных книг и больших LCD телевизоров⁴. Люди, особенно в молодом возрасте, проводят все больше времени у устройств, излучающих HEVL: телевизоров, планшетов, смартфонов и электронных книг⁵⁻⁷.

В двух работах последнего времени изучали спектральный состав излучения от наиболее популярных цифровых устройств:

1. Первая работа была выполнена в Великобритании в 2015 году и касалась изучения излучения от светящихся экранов мобильных устройств⁸. Исследователи пришли к выводу, что современные цифровые устройства излучают столько же коротковолнового синего света, что и многие

LED устройства предыдущих поколений. Анализировали данные International Data Corporation (IDC) и Canaccord Genuity, тестируя самые популярные устройства 2014 года в каждой из 3-х категорий: планшеты, смартфоны и электронные книги – iPadAir, iPhone 5s, Kindle Paper white 1-го поколения. Было установлено, что все три вида LED устройств имеют очень похожие пики излучения в синем свете при выведении на экран одного и того же текста (445-455 нм). Последние модели планшетов и смартфонов с LED экранами обладают теми же характеристиками излучения в коротковолновой области синего света, что и их предшественники⁹. Третье устройство для чтения (Kindle), ранее не обладавшее подсветкой, теперь ее имеет и также излучает много света в синем диапазоне (рис. 1).

2. Во второй работе, выполненной в Университете Кookmin (Корея), изучали оптические свойства и спектральное распределение мощности (SPD) излучения трех различных смартфонов: двух с LCD экранами (LCD 1: iPhone 5 и LCD 2: LG G3) и одного с AMOLED экраном (Samsung Galaxy S5) при просмотре двух страниц (Goggle и SNS-мессенжер), а также видео⁵. В результате было установлено, что дисплеи всех смартфонов вне зависимости от технологии их изготовления имеют спектры излучения с мощными высокими пиками в области синего света, несмотря на разные технологии устройств и широкие цветовые гаммы самих дисплеев (рис. 2).

Объект	Чувствительность	α-opic lux						
		Angry Birds (на iPad)	Angry Birds (на телефоне)	Kids sleep Dr	Текст на iPad	Текст на iPad с защитным стеклом	Электронная книга Kindle	Текст на телефоне
Цианопический	S-колбочки	244.44	63.03	27.68	409.18	59.23	46.95	71.52
Меланопический	Меланопсин	176.25	46.49	31.51	302.33	64.55	34.62	54.54
Родопический	Палочки	180.07	45.04	39.65	313.43	93.68	35.64	53.92
Хлоропический	M-колбочки	174.03	41.96	71.55	314.00	154.16	37.56	52.04
Эритропический	L-колбочки	162.66	39.72	112.96	306.52	199.93	37.68	50.49
Фотопический свет	lux	170.42	40.32	104.95	318.52	201.89	38.67	51.40
Интенсивность излучения	μW/cm ²	60.20	16.40	39.10	110.80	62.30	14.30	19.80
Световой поток	1/cm ² /s	1.61E+14	4.41E+13	1.18E+14	3.00E+14	1.85E+14	3.90E+13	5.35E+13
Спектральный пик	нм	445	450	610	445	605	455	450

Таблица 1. Спектральное распределение чувствительности фотопигментов сетчатки человека (α-opic lux) при работе с цифровыми устройствами с разными характеристиками излучения в сравнении с чтением одинакового текста на трех различных электронных устройствах⁸.

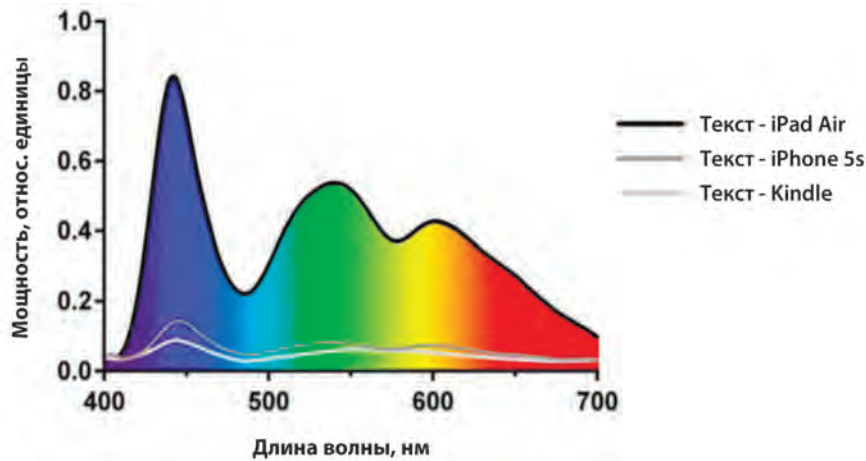


Рис. 1. Спектральные профили излучения дисплеев трех различных устройств⁹ при чтении идентичного текста

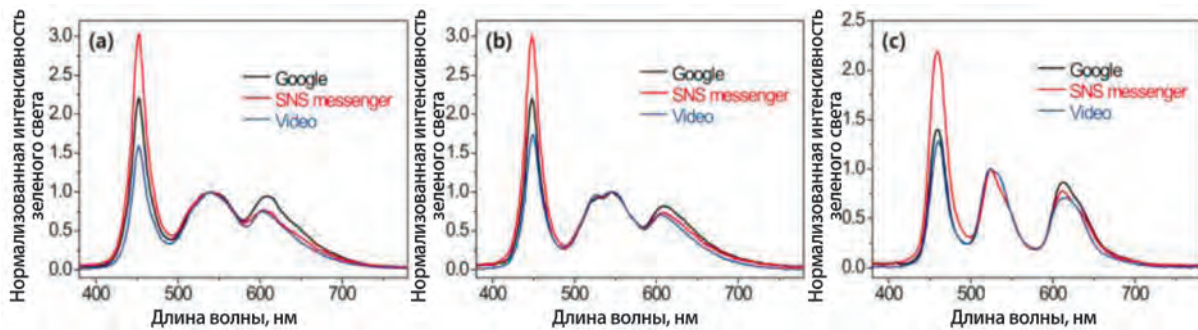


Рис. 2. Измеренные и нормализованные по зеленому свету спектры распределения мощности излучения (SPD) дисплеев трех различных смартфонов при просмотре трех web страниц (Google, SNS мессенжер и видео): (a) LCD-1, (b) LCD-2 и (c) AMOLED⁵

3. Исследователи из США и Германии также представили результаты рандомизированного исследования, в котором сравнивали излучение испускающей свет электронной книги с отражением естественного света при чтении печатной книги¹⁰.

При измерении излучения электронной книги максимальный пик приходился на 450 нм (рис. 3).

Выводы

Основываясь на результатах последних исследований, мы можем заключить, что современные цифровые устройства по-прежнему достаточно сильно излучают HEVL с пиком длины волны в диапазоне 445-455 нм^{5,9,10} (табл. 1). HEVL – наиболее опасная часть видимого света по причине достаточно высокой энергии лучей и потенциально опасных эффектов для здоровья человека.

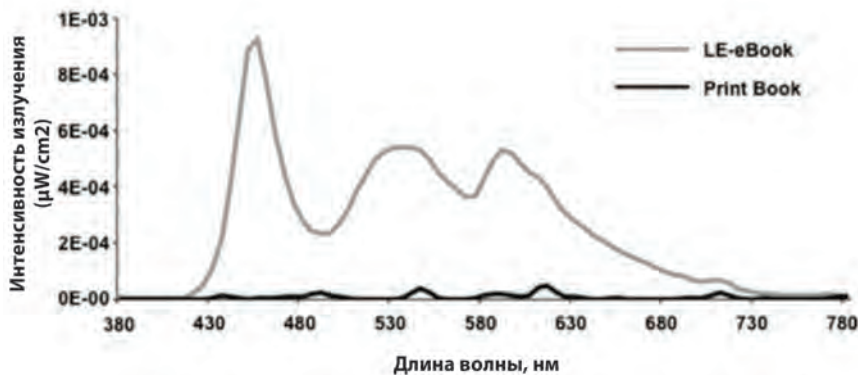


Рис. 3. Спектральные профили излучения электронной книги (серый цвет) и света, отраженного от печатного листа (черный текст). Пик излучения от электронной книги приходится на 450 нм, а пик отраженного от «бумажной» книги света - на 612 нм¹⁰.

II. Эффекты действия HEVL на человека

Основные последствия воздействия HEVL на здоровье человека состоят в нарушении циркадных ритмов и проблемах для зрительной системы.

1. Циркадные ритмы

Циркадными ритмами часто называют все изменения в организме человека в результате реакции на смену режима свет/темнота в окружающей среде. Циркадные ритмы регулируются естественными процессами внутри организма, но на них также влияют факторы окружающей среды. Свет – основной источник, влияющий на циркадные ритмы, запускающий или тормозящий секрецию гормонов, контролирующих «биологические часы» организма.

Циркадные ритмы наиболее чувствительны к почти монохроматическому синему свету в диапазоне 450-480 нм. Воздействие синего света, исходящего от любого типа смартфонов, включая LED экраны с подсветкой и OLED экраны с активной матрицей (AMOLED), подавляет синтез мелатонина⁵.

Мелатонин вырабатывается эпифизом только в темноте, поэтому его также называют «гормоном темноты». Свет блокирует секрецию мелатонина, воздействуя на фоточувствительные ганглионарные клетки сетчатки. Эти светочувствительные ганглионарные клетки активируются или «имеют пик чувствительности» в определенном диапазоне синего света (450-480 нм). Этот диапазон не совпадает с пиками чувствительности скотопических фоторецепторов (палочек сетчатки) и чувствительных к синему свету колбочек сетчатки. То есть именно синий свет, аналогичный синему цвету неба днем, запускает реакцию в ганглионарных клетках. А эти клетки передают сигнал в супрахиазматическое ядро (SCN) головного мозга, которое является компактным скоплением клеток в гипоталамусе и обеспечивает работу «циркадной системы», то есть наших «биологических часов». SCN подавляет соответствующие функции эпифиза (железы внутренней секреции), находящегося под большими полушариями головного мозга. Однако в темноте синего света нет, ганглионарные клетки его «не находят» и не активируют SCN, поэтому SCN не мешает эпифизу вырабатывать мелатонин. Мелатонин – химический медиатор, попадающий в кровь и влияющий на определенные функции организма. Он вовлечен в регуляцию циркадных ритмов – сон/бодрствование, выделение гормонов в темноте, физиологические процессы в сетчатке, антиоксидантные свободно-радикальные реакции, регуляцию сердечно-сосудистой системы, иммунной активности, контроль появления новообразований, метаболизм жиров и глюкозы¹¹.

Мелатонин широко известен как биологический агент с антиокислительными и антиканцерогенными свойствами. Контроль секреции мелатонина – ключевой фактор в регуляции здоровья и циркадных ритмов человека⁵. В ряде работ показано, что люди, подвергающиеся воздействию света ночью (в особенности HEVL), имеют низкий уровень мелатонина и повышенную частоту развития различных заболеваний и расстройств, включая нарушения сна, психические болезни, неврологические болезни (болезнь Альцгеймера), сердечно-сосудистые заболевания, мигрень, ожирение, диабет а также некоторые виды онкологических заболеваний, включая рак груди и простаты¹²⁻¹⁶.

Мелатонин способен не только подавлять рост раковых клеток или вызывать их гибель, но также достигать других желез внутренней секреции, таких как яичники и гипофиз, и блокировать выработку их гормонов: эстрогенов, прогестерона, фолликуло-стимулирующего гормона, лютеинизирующего гормона, и препятствовать развитию опухолей груди, яичников и простаты.

Обнаружено также, что мелатонин поглощает свободные радикалы – гидроксильные молекулы (OH), ионы кислорода (O₂-) и оксид азота (NO). Свободные радикалы генерируются ионизирующим излучением и, по оценкам, вызывают до 70% всех биологических повреждений ДНК, белков и клеточных мембран. Особенно опасны гидроксильные радикалы¹¹.

2. Зрительная система

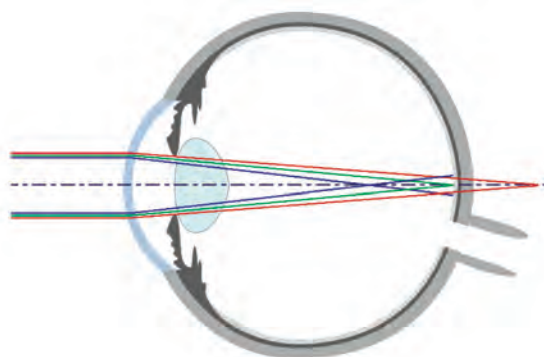
Избыток синего света может иметь отрицательные последствия для различных структур и функций зрительной системы.

Статистика, предоставленная Советом по Зрению (VisionCouncil), свидетельствует не только о росте числа людей, пользующихся цифровыми устройствами, но также и об увеличении продолжительности их использования. По данным VC, число людей, предъявляющих астенопические жалобы, возросло с 2015 по 2016 год:

- Зрительная усталость – с 32,8% по 35%,
- Боли в шее, плечах, спине – с 32,6% до 36%,
- Головные боли- с 24% до 25%,
- Снижение остроты зрения – с 23,3% до 25%,
- Сухость глаза – с 22,8% по 24%.

2.1. Острота зрения

Глаз человека фокусирует лучи с различной длиной волны в различных фокальных точках. Синий свет фокусируется перед сетчаткой, поэтому глаз человека «миопичен» по отношению к синему свету. В результате пятно светорассеяния на сетчатке больше для синих лучей, что приводит к размытости изображения. Синий свет преломляется сильнее других цветов. Большая степень размытости изображения означает снижение контрастности и четкости, снижение остроты зрения.



Поэтому селективно блокирующие синий свет очковые линзы увеличивают контрастность в условиях высокой освещенности.

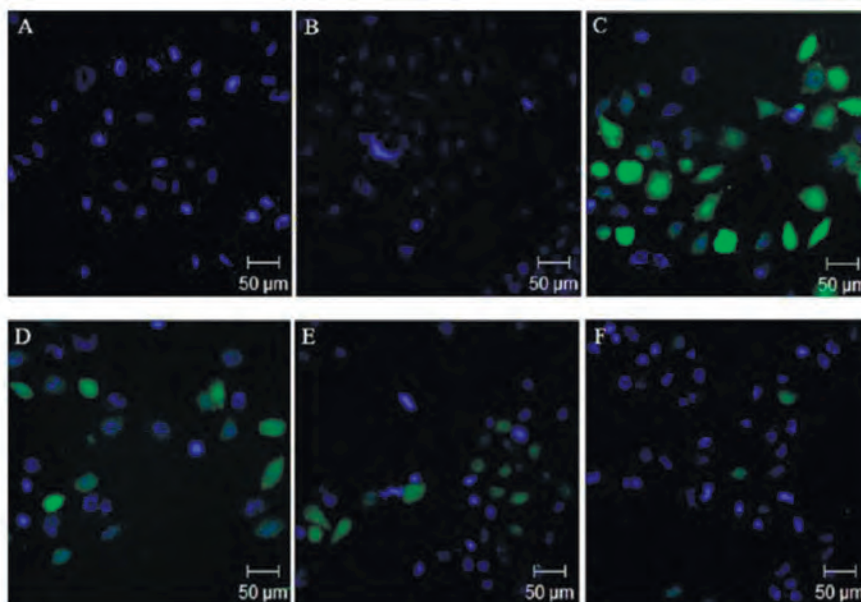


Рис. 4. На снимках, сделанных конфокальным микроскопом, показаны признаки появления активных форм кислорода (зеленая флюоресценция) после облучения LED в присутствии или без защитных растительных экстрактов. Ядра клеток прокрашены соединениями йода (синяя флюоресценция). На снимках: клетки эпителия роговицы человека в контроле (А), при воздействии LED 630±8 нм (В), при воздействии LED 410±10 нм (С), и далее воздействие LED 410±10 нм в присутствии защитных растительных экстрактов: 50 мкг/мл (D), 100 мкг/мл (E) и 250 мкг/мл (F)¹⁷.

2.2. Роговица

Усиленное воздействие синего света может оказывать негативные эффекты и вызывать окислительное повреждение эпителия роговицы. Выживаемость клеток эпителия роговицы снижается после облучения синим светом с длиной волны (410-480 нм). Это состояние может вызвать окислительный стресс, ведущий к развитию патологии роговицы, вызывая сухость глаза¹⁷. Роговица, клетки эпителия которой подверглись окислительному стрессу, становится более чувствительной и легче повреждается, что может привести к развитию воспалительных реакций (рис. 4).

2.3. Зрачок

Излучение НИД (газоразрядных ламп высокого давления) и LED ламп влияет на зрачковый рефлекс на свет (PLR).

PLR управляется меланопсин-содержащими ганглионарными клетками сетчатки, которые при непрерывном освещении сильнее всего реагируют на свет с короткими длинами волн. Минимальный диаметр зрачка был зафиксирован в диапазоне длин волн от 430 нм до 450 нм. Восстановление до «нормального» диаметра зрачка в сумерках занимает около 30 минут. В это время палочки, ответственные за ночное зрение и расположенные в периферических отделах сетчатки, не стимулируются и не посылают сигналы в зрительный анализатор коры головного мозга. Поэтому для людей крайне трудно ориентироваться в темноте и иметь достаточную остроту зрения. Люди с маленьким диаметром зрачка обычно имеют ограниченное поле зрения, слабое стереоскопическое зрение и долго адаптируются к темноте¹⁸ (рис. 5).

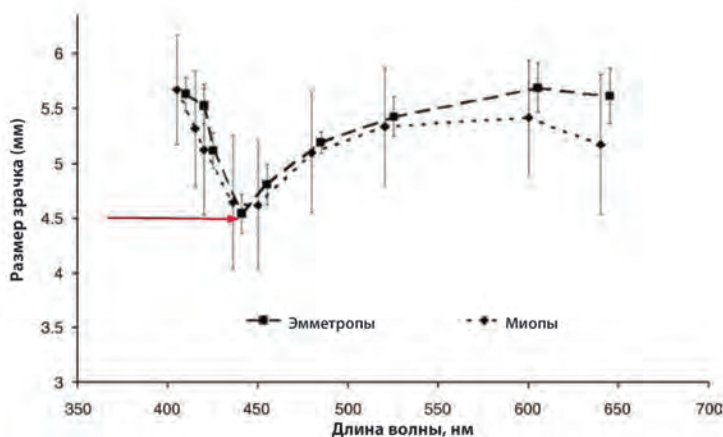


Рис. 5. Диаметры зрачка пациентов при фиксации взгляда на мишени. Обратите внимание, что минимальные диаметры зрачка наблюдаются в условиях освещенности светом с длинами волн от 430 до 450 нм. Представленные ошибки: ± 1 стандартное отклонение¹⁸.

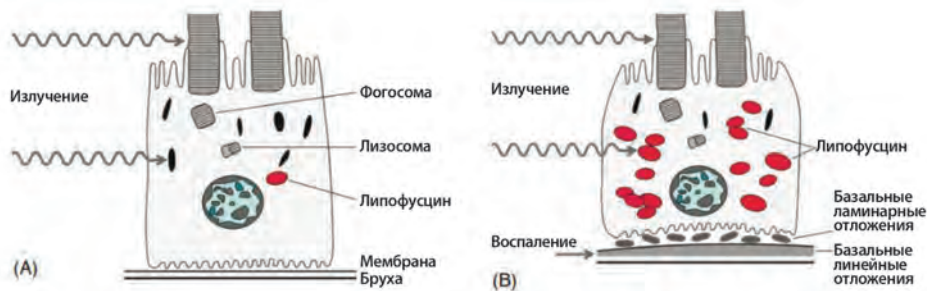


Рис. 6. Схематическое представление процесса старения клеток RPE. (А): В ответ на облучение внешние сегменты рецепторов подвергаются перекисному окислению полиненасыщенных липидов; их концы «падают» и фагоцитируются в RPE, поглощаясь лизосомами, а остатки образуют липофусцин. Коротковолновое излучение (синий свет) будет индуцировать соответствующие повреждения, запуская окислительные механизмы, выделение липофусциновых хроматофоров и повреждение жизненно важных структур, таких как митохондрии и ДНК. (Б): С возрастом количество липофусцина (красные символы) в RPE значительно возрастает, делая клетки более уязвимыми к воздействию излучения в условиях окислительного стресса. Некоторые непереработанные продукты распада выделяются из RPE во внеклеточное пространство (базальные ламинарные депозиты) и мембрану Бруха (базальные линейные отложения), в которых может развиться вторичная воспалительная реакция (клинически оцениваемая как мягкие друзы)²⁹.

2.4. Сетчатка

В многочисленных работах установлена связь между воздействием синего света и накоплением липофусцина в клетках пигментного эпителия сетчатки (RPE), снижающего уровень макулярного пигмента в сетчатке и вызывающего окислительный стресс и свободно-радикальное повреждение фоторецепторов и клеток RPE. Низкий уровень пигмента в макулярных клетках и другие повреждения клеток сетчатки могут увеличить заболеваемость возрастной дегенерацией макулы (AMD). Исследования на животных¹⁹⁻²¹ и ряд работ на клетках пигментного эпителия человека²²⁻²⁷ *in vitro* свидетельствуют, что видимый свет, особенно коротковолновая часть (в зоне родопсина) и синий свет (с пиком в районе 440 нм), оказывает наибольшее влияние на рецепторы и функции RPE, вызывая фотохимическое повреждение клеток пигментного эпителия (RPE) и фоторецепторов (палочек и колбочек), апоптоз этих клеток, что может увеличить вероятность развития AMD²⁸⁻³¹ (рис. 6).

Литература

1. Oh J.H., Yoo H., Park H. K., Do Y. R. Analysis of the circadian properties and healthy levels of blue light from smartphones at night. Scientific reports. 06/2015; 5:11325. DOI:10.1038/srep11325
2. Moreno I, Contreras U. Colour distribution from multicolour LED arrays. Opt Express.2007; 15: 3607–3618.
3. Wang Y, Wang Y, Chi N, Yu J, Shang H. Demonstration of 575- Mb/s downlink and 225-Mb/s uplink bi-directional SCM-WDM visible light communication using RGB LED and phosphor- based LED. Opt Express. 2013; 21:1203–1208.
4. Tosini G., Ferguson I., Tsubota K. Effects of blue light on the circadian system and eye physiology. Molecular Vision 2016; 22:61-72. [PMID: 4734149]
5. Oh J. H., Yoo H., Park H. K., Do Y. R. Analysis of circadian properties and healthy levels of blue light from smartphones at night. Scientific Reports. 06/2015. 5:11325/ DOI:10.1038/srep11325
6. 2015 Digital Eye Strain Report “Hindsight is 20/20/20: Protect Your Eyes from Digital Devices”. The Vision Council. <http://www.thevisioncouncil.org/blog/2015-digital-eye-strain-report-released> [(Accessed 11.03.2016)]
7. 2016 Digital Eye Strain Report “Eyes Overexposed: The Digital Device Dilemma”. The Vision Council. http://www.thevisioncouncil.org/sites/default/files/2416_VC_2016EyeStrain_Report_WEB.pdf [(Accessed 11.03.2016)]
8. Gringras P, Middleton B, Skene DJ, Revell VL. Bigger, Brighter, Bluer-Better? Current light-emitting devices – adverse sleep properties and preventative strategies. Front Public Health.10/2015; 3:233. doi: 10.3389/fpubh.2015.00233
9. Chang AM, Aeschbach D, Duffy JF, Czeisler CA. Evening use of light-emitting e-Readers negatively affects sleep, circadian timing, and next-morning alertness. Proc Natl Acad Sci USA (2014) 112:18490. Doi: 10.1073/pnas. 1418490112
10. Chang A.-M., Aeschbach D., Duffy J.F., Czeisler C.A. Evening use of light-emitted e-Readers negatively affects sleep. Circadian timing, and next-morning alertness. 10/2014. RNAS. DOI/10.1073/pnas.1418490112
11. Hrushesky W. J. M, Blask D., Lissoni P. Melatonin, Chronobiology, and Cancer. 2003. <http://cam.cancer.gov/cam/attachments/MelatoninSummary.pdf>

[(Accessed 11.03.2016)]

12. Stevens, R. G., Brainard, G. C., Blask, D. E., Lockley, S. W. & Motta, M. E. Adverse health effects of night time lighting. Am. J. Prev. Med. 45, 343–346 (2013).
13. Stevens, R. G. Light-at-night, circadian disruption and breast cancer: assessment of existing evidence. Int. J. Epidemiol. 38, 963–970 (2009).
14. Sanchez-Barcelo E. J., Cos S., Mediavilla D., Martinez-Campa C., Gonzalez A., Alonso-Gonzalez C. Melatonin–estrogen interactions in breast cancer. J. Pineal Res. 2005; 38:217–222 Doi:10.1111/j.1600-079X.2004.00207.x
15. Dominguez-Rodriguez, A., Abreu-Gonzalez P., Reiter R. J. Melatonin and Cardiovascular Disease: Myth or Reality? Rev Esp Cardiol. 2012;65(3):215–218
16. McMullan C. J., Schernhammer E.S. B. Rimm E.B., Hu F. B., Forman J. P. Melatonin Secretion and the Incidence of Type 2 Diabetes. JAMA, April 3, 2013—Vol 309, No. 13
17. Lee J.B., Kim S.H., Lee S.C., Kim H.G., Ahn H.G., Li Z, Yoon K.C. Blue light-induced oxidative stress in human corneal epithelial cells: protective effects of ethanol extracts of various medicinal plant mixture. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2014 Jun 12; 55(7):4119-27. doi: 10.1167/iovs.13-13441.
18. Graef K., Schaeffel F. Control of accommodation by longitudinal chromatic aberration and blue cones Journal of Vision 2012) 12(1):14,1-12
19. Jaadane I, Boulenguez P, Chahory S, Carré S, Savoldelli M, Jonet L, Behar-Cohen F, Martinsons C, Torriglia A. Retinal damage induced by commercial LEDs. Free Radic Biol Med. 2015 Jul; 84:373-84. doi: 110.1016/j.freeradbiomed.2015.03.034. Epub 2015 Apr 8
20. Thomas BB, Seiler MJ, Aramant RB, Samant D, Qiu G, Vyas N, Arai S, Chen Z, Satta SR. Visual functional effects of constant blue light in a retinal degenerate rat model. Photochem Photobiol 2007; 83:759-65. [PMID: 17115798].
21. Narimatsu T, Ozawa Y, Miyake S, Kubota S, Yuki K, Nagai N, Tsubota K. Biological effects of blocking blue and other visible light on the mouse retina. Clin Experiment Ophthalmol 2014; 42:555-63. [PMID: 24304494]
22. Sparrow J. R., Nakanishi K., Parish G.A The lipofuscin fluorophore A²E Mediates blue light –induced damage to retinal pigmented epithelial cells. IOVS, 06/2000, vol.41, No.7
23. J. Sparrow et al. “The lipofuscin fluorophore A2E mediated blue light-induced damage to retinal pigmented epithelial cells.” June 2000. “Involvement of oxidative mechanisms in blue light-induced damage to A2E-laden RPE.” IOVS, 04/2002, vol.43, No.4
24. Zhou J., Sparrow J. R. Light filtering in a retinal pigment epithelial cell culture model. Optometry and Vision Science.)6/2011, Vol.88, No. 6
25. Chamorro E., Bonnin-Arias C., Pérez-Carrasco M.J., Muñoz de Luna J., Vázquez D., Sánchez-Ramos C. Effects of light-emitting diode radiations on human retinal pigment epithelial cells in vitro. Photochem Photobiol. 2013 Mar-Apr; 89 (2):468-73. doi: 10.1111/j.1751-1097.2012.01237.x. Epub 2012 Oct 9.
26. Roehlecke C1, Schaller A, Knels L, Funk RH. The influence of sublethal blue light exposure on human RPE cells. Mol Vis. 2009 Sep 21; 15: 1929-38. [PMID: 2751800]
27. Roehlecke C1, Schumann U, Ader M, Knels L, Funk RH. Influence of blue light on photoreceptors in a live retinal explant system. Mol Vis. 2011 Apr 8; 17: 876-84. [PMID: 3081800]
28. Margrain TH, Boulton M, Marshall J, Sliney DH. Do blue light filters confer protection against age-related macular degeneration? Prog Retin Eye Res 2004; 23:523-31. [PMID: 15302349]
29. Algvère PV, Marshall J, Seregard S. Age-related maculopathy and the impact of blue light hazard. Acta Ophthalmol Scand 2006; 84:4-15. [PMID: 16445433].
30. Roehlecke C., Schumann U., Ader M., Brunssen C., Bramke S., Morawietz H., Funk R.H. Stress reaction in outer segments of photoreceptors after blue light irradiation. PLoS One. 2013 Sep 11; 8 (9):e71570. doi: 10.1371/journal.pone.0071570. eCollection 2013. [PMID: 3770596]
31. Roehlecke C1, Schumann U, Ader M, Knels L, Funk RH. Influence of blue light on photoreceptors in a live retinal explant system. Mol Vis. 2011 Apr 8; 17: 876-84.