

Гигиена труда

© КАПЦОВ В.А., ДЕЙНЕГО В.Н., 2017

УДК 613.645

Капцов В.А.¹, Дейнего В.Н.²

Q-ЗАКОН КАК МЕТОДИЧЕСКАЯ ОСНОВА ГИГИЕНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К СВЕТОВОЙ СРЕДЕ

¹ФГУП «ВНИИ железнодорожной гигиены» Роспотребнадзора, 125438, г. Москва, Россия;²ЗАО «ЭЛТАН», 141190, Московская область г. Фрязино

К современным светотехникам приходит осознание, что свет, кроме визуального эффекта, имеет не визуальное воздействие на глаза и здоровье человека в целом. Это приводит к необходимости пересмотра стандартов по освещению, в которых должны учитываться не только интересы бизнеса, но и доводы гигиенистов и офтальмологов по защите здоровья человека от вредного воздействия света энергосберегающих источников. Для формирования требований к спектральному составу источников света необходимо сформировать совокупность гигиенических законов, определяющих не визуальное воздействие света на ткани глаза. В результате анализа процессов взаимодействия света с тканью глаза нами сформулирован Q-закон, который определяет фотобиологические и циклические процессы с образованием деструктивных остатков, создающих предпосылки для развития различных болезней глаз. Критерии устойчивости этих фотобиологических процессов и зависимость скорости накопления деструктивных остатков от световой нагрузки глаза могут стать методической основой для определения дополнительных гигиенических требований к световой среде обитания человека.

Ключевые слова: Q-закон; освещение; не визуальные эффекты света; зрительный цикл; collagen.

Для цитирования: Капцов В.А., Дейнего В.Н. Q-закон как методическая основа гигиенических требований к световой среде. Гигиена и санитария. 2017; 96(8): 747-751. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-8-747-751>

Для корреспонденции: Капцов Валерий Александрович, д-р мед. наук, профессор, член-корреспондент РАН, зам. директора по научной работе ФГУП ВНИИ железнодорожной гигиены Роспотребнадзора, 125438, Москва. E-mail: kapcovva39@mail.ru.

Kaptsov V.A.¹, Deynego V.N.²

THE Q-LAW AS THE METHODOLOGICAL BASIS OF HYGIENIC REQUIREMENTS TO THE LIGHT-ENVIRONMENT

¹All-Russian Research Institute of Railway Hygiene of the Federal Service for the Oversight of Consumer Protection and Welfare, Moscow, Russian Federation, 125438; Joint Stock Company "Russian Railways", Moscow, 107174, Russian Federation;²ELTAN Ltd, Fryazino, 141190, Russian Federation

Modern light technicians come to the realization that besides the visual effect the light has non visual effect on eyes and health in general. This leads to the need to revise standards for coverage which should take into consideration not only business interests, but arguments of hygienists and ophthalmologists for the protection of human health from harmful effects of energy saving light sources. For the formation of requirements to the spectral composition of light sources it is necessary to generate a set of hygienic laws defining non-visual effects of light on eye tissues. As a result of the analysis of processes of interaction of light with the eye tissue we formulated the Q-law, which defines photobiological and cyclic processes with the delivery of destructive residues, that create the preconditions for the development of various diseases of the eye. Stability criteria for these photobiological processes and the dependence of the rate of accumulation of destructive residues from the light load of the eye can serve as a methodical basis for identification of additional hygienic requirements to the lighting human environment.

Key words: Q-law; lighting; non-visual effects of light; the visual cycle; collagen.

For citation: Kaptsov V.A., Deynego V.N. Q- the law as the methodical basis of hygienic requirements to the light-environment. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2017; 96(8): 747-751. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-8-747-751>

For correspondence: Valery A. Kaptsov, MD, PhD, DSci., professor, member-correspondent of RAS, Deputy Director for scientific work of the All-Russian Research Institute of Railway Hygiene of the Federal Service for the Oversight of Consumer Protection and Welfare, Moscow, 125438, Russian Federation. E-mail: kapcovva39@mail.ru

Information about authors:

Kaptsov V.A., orcid.org/0000-0002-3130-2592

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: 21.11.16

Accepted: 16.01.17

«Мы находимся в такой волнительный момент в истории освещения – не только с точки зрения технологии, но и с точки зрения исследований, связанных с не визуальными эффектами освещения. Мы начали новую эру с нашим отделом по стандартам, с новым руководством и дополнительным персоналом. Отдел готовит долгосрочный план по разработке новых стандартов», –

сказала Ширли Коил, новый президент Светотехнического общества Северной Америки (IES) и президент Cree Канады (фирма Cree – производитель светодиодов). Предполагается, что будет скорректирована техническая политика производителей светодиодного освещения с учётом факторов незрительного влияния энергетического спектра света на глаза и здоровье человека.

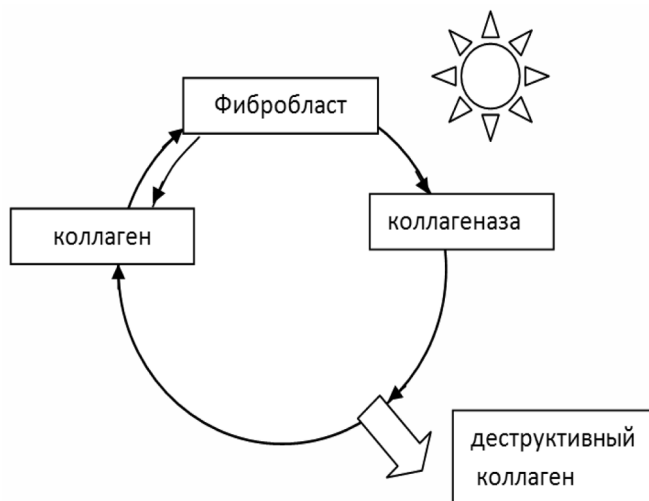


Рис. 1. Общая схема восстановления и разрушения коллагена и образование деструктивного остатка (коллагена).

Через некоторое время «ветер перемен» подует и в нашей стране в области стандартизации освещения. Хотелось бы, чтобы разработчики стандартов учитывали мнение не только бизнеса, но и врачей-офтальмологов и гигиенистов, которые обязаны заботиться о здоровье человека [1]. Исходя из этого, должны быть сформированы гигиенические требования к световой среде, сводящие к минимуму риск глазных заболеваний, таких как миопия и глаукома, из-за воздействия световой зрительной нагрузки.

В 1887 г. Ф.Ф. Эрисман отмечал, что «неминуемой точкой отправления при всех гигиенических исследованиях является стремление найти те законы, которые управляют здоровьем человека, и исследовать как при помощи эксперимента, так и путём статистических наблюдений все те общественные и частные явления, понимание которых непосредственно может содействовать открытию этих законов, так что все явления окружающей среды интересуют гигиенистов лишь настолько, насколько они могут отражаться на здоровье человека».

Исходя из этого посыла, будут рассмотрены некоторые общие закономерности взаимодействия энергии света с клетками функциональных структур глаза (роговицы и сетчатки).

Методической основой наших рассуждений стал принцип оптимальной достаточности. В основе этого принципа лежит закономерность Арндта–Шульца и циклический характер протекания биохимических процессов под воздействием дозы света с накоплением деструктивных остатков. Достаточные условия оптимальности световой нагрузки определяются, исходя из принципа минимаксной стратегии. Минимум ущерба (риска ущерба) от световой нагрузки при максимуме зрительной эффективности.

Свет – не только носитель зрительной информации, но и потенциально опасный повреждающий фактор. Этот эффект двудюкого бога Ра академик М.А. Островский определяет как фотобиологический парадокс зрения [2, 3]. «Суть его в том, – объясняет академик, – что свет выступает в двух прямо противоположных ипостасях. С одной стороны, он – необходимый для жизни носитель зрительной информации, а с другой – весьма опасный, повреждающий глазные структуры фактор. Для глаза опасен слишком яркий свет, который может его просто сжечь: попробуйте посмотреть на солнце...» Но особенно опасны ультрафиолетовые и, в значительной мере, синие лучи солнечного спектра. Долгое время синий свет считался целебным, в быту им лечили простуду. Но оказалось, что в клетках сетчатки и лежащего за ней пигментного эпителия с возрастом накапливаются вредные вещества, которые обильно поглощают синий свет, генерируя при этом свободные радикалы – исключительно активные токсичные формы кислорода, которые приводят к последствиям разрушительным, подчас необратимым. К таким

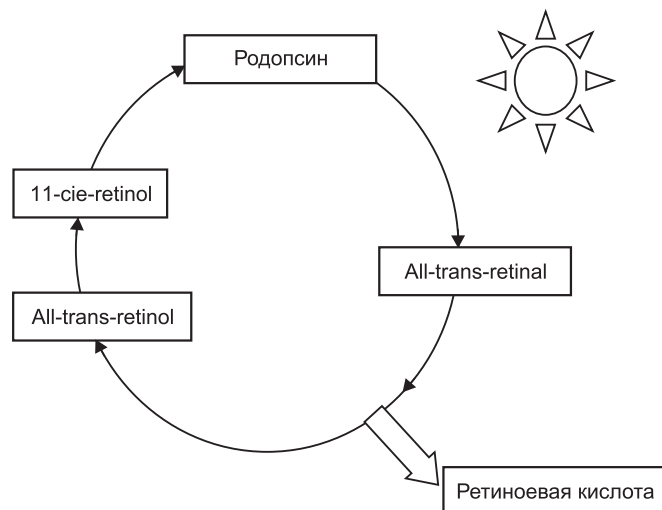


Рис. 2. Общая схема восстановления и разрушения фоточувствительных пигментов колбочек и палочек сетчатки и образования деструктивного остатка (ретиновой кислоты).

вредным веществам относится так называемый пигмент старости – липофусцин. До работ Островского и его сотрудников начала 90-х годов считалось, что липофусцин – это безвредные, инертные шлаки, накапливающиеся с возрастом. Оказалось, что они далеко не инертны, а под действием синего света становятся активными источниками *всеразрушающих свободных радикалов*. Более того, выяснилось, что развитие тяжелейших заболеваний сетчатки, приводящих в итоге к полной слепоте, сопровождается повышенным накоплением в клетках пигментного эпителия как раз «пигмента старости» со всеми вытекающими отсюда последствиями. Основатель современного экологического сознания В.И. Вернадский говорил: «Нет неизлечимых заболеваний, есть недостаток знаний. И старение – это болезнь, которую можно лечить».

К общим критическим закономерностям, которые способствуют повышению рисков возникновения глазных болезней, относятся: циклические процессы разрушения и восстановления коллагена в роговице глаза и накопление деструктивного коллагена; циклические процессы разрушения и восстановления пигментов в фоточувствительных клетках сетчатки с накоплением А2Е, поглощающих 450 нм [3], и ретиновой кислоты, которая влияет на коллаген задней склеры глаза [4].

При рассмотрении этих процессов гигиенисту важно понимать, какая часть спектра и доза света наибольшим образом влияет на формирование деструктивного остатка. Рассмотрим общие схемы этих процессов. На рис. 1 приведена схема восстановления и разрушения коллагена и образование деструктивного остатка (нерастворимого коллагена).

Свет, точнее красная часть его спектра, повышает активность фибробласта роговицы по восстановлению коллагена через разрушение его шивок с помощью коллагеназы, но не во всех случаях это разрушение происходит с эффективностью, равной 100%. Деструктивный коллаген накапливается, изменяя форму и оптические свойства роговицы, что негативно влияет на качество зрения человека.

На рис. 2 приведена схема восстановления и разрушения фоточувствительных пигментов колбочек и палочек сетчатки.

Во время зрительного цикла в колбочках и палочках происходит синтез ретиновой кислоты, которая влияет на коллагеновую матрицу задней стенки склеры глаза, изменяя её механические характеристики и удлиняя главную ось глаза при световой нагрузке.

На рис. 3 приведена общая схема зрительного цикла (акад. М.А. Островский) с образованием фототоксичного остатка [3].

Фототоксичный остаток накапливается и под воздействием синего света 450 нм, является генератором активных форм кислорода [3] с негативными последствиями для сетчатки глаз, если их концентрация превышает оптимальную величину.

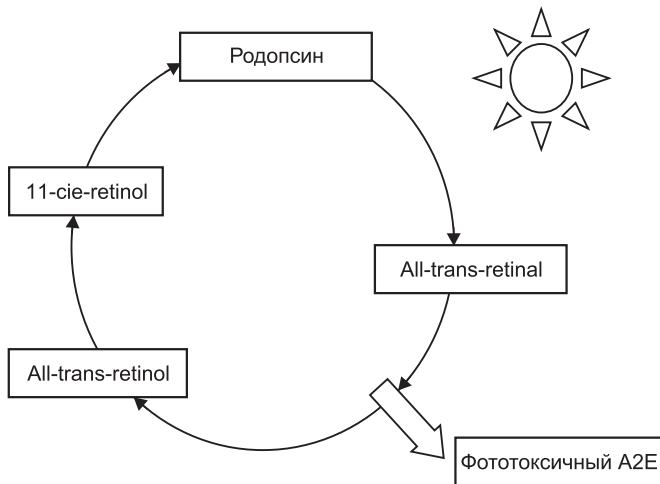


Рис. 3. Общая схема восстановления и разрушения пигментов и образование деструктивного остатка (фототоксичного А2Е).

Активные формы кислорода (АФК) образуются и при облучении красным светом митохондрий фибробласта. При превышении оптимальной дозы света деструктивный эффект от АФК преобладает над эффектом повышения активности митохондрии и приводит к разрушению клетки.

В контексте нашей статьи рассмотрены следующие диапазоны длин волн для 4 пиков в спектре света применяемого в светотерапии [11]: 1) 613,5–623,5 нм; 2) 667,5–683,7 нм; 3) 750,7–772,3 нм; 4) 812,5–846,0 нм.

Рассмотрим диапазон 667,5–683,7 нм. Для повышения устойчивости клеток сетчатки к окислительному стрессу необходимо, чтобы в спектре искусственных источников света содержался красный свет с длиной волны 670 нм. В работах [13] показано, что облучение сетчатки глаза красным светом 670 нм повышает устойчивость митохондрий, клеток Мюллера, фоторецепторов и популяции фибробласта 2 к воздействию АФК.

Все приведённые закономерности объединяет общий принцип цикличности разрушения и восстановления при высвобождения деструктивного остатка.

Такой вид схемы протекания процесса, разрушения и восстановления с формированием деструктивного остатка, напоминает букву Q. Исходя из этой общности схем, обозначим такие процессы как Q-законы воздействия света на ткани глаз.

Q-законы воздействия света на ткани глаз определяют как фотобиологические, так и циклические процессы с образованием деструктивных остатков (рис. 4).

Накопление деструктивного остатка создаёт предпосылки (риски) для возникновения болезней глаза. С точки зрения гигиены света очень важно выявлять процессы, протекающие в соответствии с Q-законами для отработки мероприятий по обеспечению минимального ущерба для глаз и здоровья человека. При этом важно отметить, что у каждого процесса имеются свои критические частоты (длины волн света).

Совокупность процессов взаимодействия света и клеток функциональных структур глаза с образованием деструктивных остатков можно описать как множество Q-законов восприятия света. Это множество может дополняться по мере открытия новых циклических процессов с деструктивным остатком.

Из Q-законов вытекают интересные и полезные для нормотворчества гигиенистов

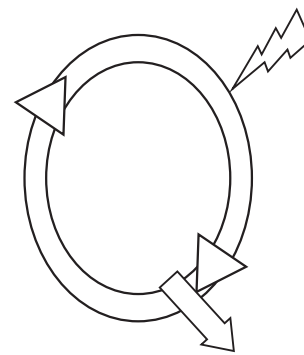


Рис. 4 Общая схема циклического процесса разрушения и восстановления с формированием деструктивного остатка.

следствия по формированию требований к адекватному спектральному составу световой среды по критерию динамической устойчивости таких процессов. Например, для восстановления и разрушения коллагена и образования деструктивного остатка (коллагена) [6]. Предназначение коллагеназы состоит в том, чтобы «расшивать» коллагеновые нити, способствуя процессу их обновления, т. к. коллагеназа совместно с протеолитическими ферментами разрушает коллагеновую молекулу до низкомолекулярных пептидов, которые вновь в качестве исходного материала возвращаются в фибробласты, где и происходит синтез новых предшественников коллагена. За счёт этого процесса коллаген постоянно обновляется с периодом жизни (τ) около 30 сут [7].

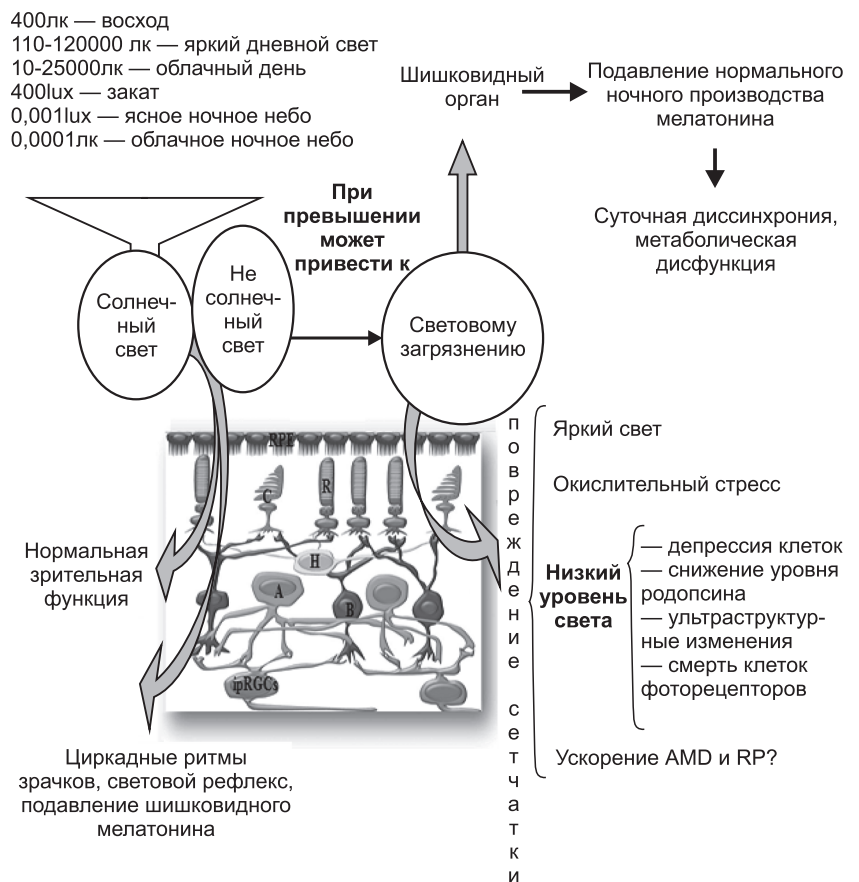


Рис. 5. Влияние светового загрязнения на сетчатку.

R, палочки; C, колбочки; H, горизонтальная; B, биполярная; A, амакриновая; ipRGCs, внутренние светочувствительные ганглиозные клетки сетчатки; RPE, пигментный эпителий сетчатки глаза.

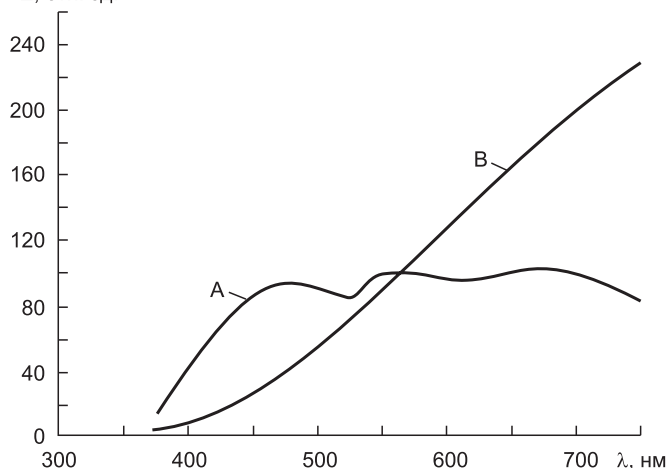


Рис. 6. Сравнение спектра лампы накаливания (В) с солнечным спектром (А).[14].

Для такого рода процессов в норме характерно обязательное наличие равенства скоростей:

$$V_{\text{синт}} = V_{\text{дестр}}$$

Это равенство определяет наличие устойчивого динамического равновесия. Естественно предположить, что при увеличении скорости синтеза или снижении скорости деструкции коллагеновых фрагментов может наступать состояние организма, связанное с излишней коллагенизацией дермы, и наоборот, при снижении скорости синтеза и увеличении скорости деструкции может наступить деколлагенизация ткани дермы. Величины абсолютных значений скоростей синтеза и деструкции определяют время жизни коллагеновой нити (τ). Чем выше равновесные скорости синтеза и деструкции, тем ниже значение τ , и наоборот.

Критерии устойчивости этих фотобиологических процессов и зависимость скорости накопления деструктивных остатков от световой нагрузки глаза могут стать основой для дополнительных гигиенических требований к световой среде с биологически адекватным спектром света и уровнем освещенности.

В работе [9] показано, что искусственные источники света характеризуются повышенной дозой света на определенных длинах волн, по сравнению с солнечным светом при одинаковом уровне освещенности.

Возможные механизмы последствия чрезмерного освещения на сетчатку рассмотрены в обзоре [10]. На рис. 5 приведена схема влияния светового загрязнения на сетчатку.

Фоторецепторы, пигментный эпителий сетчатки глаза, и внутренняя светочувствительная область сетчатки глаза – ганглиозные клетки – могут пострадать от высокой или длительной низкой искусственной освещенности в помещении, света в ночное время. Эти события могут повлиять на общую физиологию сетчатки глаза или ускорять некоторые генетические заболевания, заканчивающиеся слепотой. Эти явления, обусловленные световым загрязнением, стали реалиями современной жизни, где изменился циркадный цикл. Кроме того, в результате гибели клеток фоторецепторов (конус, стержень и внутреннее светочувствительные ганглиозные клетки сетчатки глаза); световое загрязнение может неблагоприятно влиять на шишковидную железу, производя десинхронизацию циркадных систем, изменяя зрачковый световой рефлекс и метаболические процессы, угрожающие здоровью человека (рис. 5).

Авторы обзора [10] считают, что как интенсивное, так и длительное воздействие света, которое является результатом современного образа жизни, может повлиять на палочки, колбочки, эпителий сетчатого пигмента, а также светочувствительные ганглиозные клетки сетчатки. Кумулятивный эффект, длительное воздействие и высокая освещенность светодиодными источниками может влиять на физиологию сетчатки приводя к гибели клеток и как следствие к слепоте.

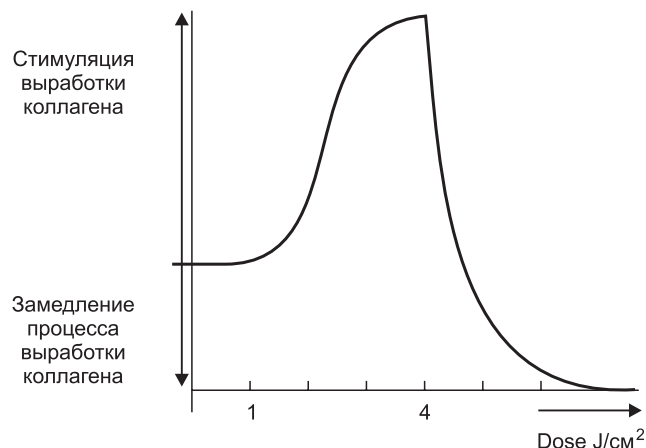


Рис. 7. Кривая Арндта–Шульца.

Для сравнения, на рис. 6 приведены спектры излучения солнца (А) и обычной лампочки накаливания (В).

Спектр лампы накаливания, как и солнечный, относится к непрерывным спектрам, которые полностью заполняют видимый спектральный диапазон электромагнитного излучения (400–700 нм). Считается, что солнечный спектр благотворно влияет на восстановление зрения и приостановку миопии. Поэтому детям рекомендуется больше времени проводить на свежем воздухе при солнечном свете. Это подтверждают и рекомендации Научного комитета по новым и вновь выявленным рискам для здоровья (SCENIHR) – «рассмотреть меры по уменьшению злоупотребления искусственным освещением в целом».

Ранее не обращалось внимание на тот факт, что спектр лампы накаливания имеет значительный выброс в красной области света, в частности на длине волны 633 нм – на 44% больше, чем в спектре солнечного света. Эта длина волны красного света при определенной дозе может влиять на процесс синтеза коллагена. В работе [6, 11] показано, что стимуляция активности фибробласта по синтезу коллагена зависит от дозы облучения на оптимальной длине волны 633 нм. Оптимальный уровень дозы может быть определен по кривой Арндта–Шульца (рис. 7).

Кривая Арндта–Шульца имеет 2 области: стимуляции выработки коллагена; уменьшения скорости выработки коллагена (область с эффектом заторможенности).

При малых дозах облучения отсутствует эффект стимуляции, а при больших проявляется эффект заторможенности. Кривая Арндта–Шульца для воздействия света вытекает из закона Арндта–Шульца. В 1883 г. профессор психиатрии Грейфсвальдского университета Рудольф Арндт на основании отвлеченных образований распространил положения закона Пфлюгера о влиянии на мышцу гальванического тока (восходящего) на все раздражения, придав впоследствии этим положениям значение основного биологического закона, согласно которому слабые раздражения пробуждают деятельность живых элементов, средние – её усиливают, сильные – тормозят, очень сильные – парализуют. В настоящее время закон Арндт–Шульца является биофизической основой квантовой медицины при определении оптимальных доз светового воздействия [8].

При оптимальных дозах красного света 633 нм идет процесс стимуляции митохондрий фибробласта и выработка коллагена и эластина. Оптимальный уровень дозы красного света 633 нм может быть определен по уровню красного света 633 нм в солнечном свете, при котором тормозится развитие миопии. В спектре ламп накаливания уровень дозы красного света 633 нм намного больше (на 44%), чем при солнечном свете, при равных уровнях освещенности. Это говорит о том, что при освещении среды обитания лампами накаливания по закону Арндта–Шульца увеличиваются риски угнетения функционирования фибробласта по выработке коллагена и эластина. При снижении скорости восстановления коллагена по нашей модели восстановления и разрушения коллагена в роговице может привести к развитию деструктивных процессов.

В ряде исследований показано, что выращивание животных (обезьяны, морские свинки, цыплята) от рождения до зрелого возраста приводит в случае синего освещения к развитию дальности зрения (+4 D), в случае красного освещения к развитию миопии (-6 D) [12].

Итак, по академику М.А. Островскому, при избыточной дозе синего света в сетчатке глаза протекают деструктивные процессы, а по приведенным доводам, при избыточной дозе красного света такие процессы протекают в коллагенной матрице роговицы. Это говорит о том, что в современных нормах по освещению необходимо учесть требования по спектру света, который должен быть биологически адекватным и не нарушать оптимальные нормы протекания биохимических процессов в клетках ткани глаза.

Требования к спектру искусственного источника света могут быть сформулированы с учётом множества Q-законов воздействия света, которые определяют перечень критических длин волн, а по закону Арндта-Шульца дозы для этих длин волн.

Выводы

1. Современные светотехники начинают понимать, что свет, кроме визуального эффекта, имеет невизуальное воздействие на глаза и здоровье человека в целом, приводящее к необходимости пересмотра стандартов по освещению, в которых должно учитываться не только мнение бизнеса, но и доводы гигиенистов и офтальмологов по защите здоровья человека от вредного воздействия света от энергосберегающих источников.

2. Критерии устойчивости этих фотобиологических процессов и зависимость скорости накопления деструктивных остатков от световой нагрузки глаза могут стать основой для формирования дополнительных гигиенических требований к источникам света для формирования световой среды с биологически адекватным спектром света и уровнем освещённости.

3. Требования к спектру искусственного источника света могут быть сформулированы с учётом множества Q-законов воздействия света, которые определяют перечень критических длин волн, а по закону Арндта-Шульца – дозы для этих длин волн.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература (п.п. 5, 7, 10, 11, 13 см. References)

- Капцов В.А., Дейнего В.Н. Светодиодное освещение – вред здоровью или польза энергосбережению? Спор американских ассоциаций. *ЭНЕРГОСОВЕТ*. 2016; (3).
- Валентинов А. *Парадоксы зрения по капризу природы. Чудеса и приключения*. 2005; (2): 12–3.
- Островский М.А. *Зрение: от кванта света до зрения. Осенний семестр: Современная нейрофизиология: от молекул к сознанию*. М.: Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН; 2014.
- Обрубов С.А., Хамнагдаева Н.В., Семёнова Л.Ю., Порядин Г.В., Салмаси Ж.М. Экспериментальные модели осевой близорукости: подходы к изучению механизмов развития. *Российская детская офтальмология*. 2015; (2): 58–66.
- Ердакова В.П. *Теоретические и практические основы конструирования современных косметических средств, обладающих трансдермальной активностью*. Бийск; 2008.
- Пашков Б.А. *Биофизические основы квантовой медицины. Методическое пособие к курсам по квантовой медицине*. М.; 2004.
- Дейнего В.Н., Капцов В.А., Балашевич Л.И., Светлова О.В., Макаров Ф.Н., Гусева М.Г. и др. Профилактика глазных забо-

леваний у детей и подростков в учебных помещениях со светодиодными источниками света первого поколения. *Российская детская офтальмология*. 2016; (2): 57–73.

- Зак П.П. Основания ограничения цветовой температуры светодиодного освещения в образовательных, дошкольных и лечебных учреждениях. В кн.: *Материалы IX Международного Форума по светодиодным технологиям*. М.; 2015.
- Воробьев С.П. *Спектр лазерного излучения*. Available at: http://laser-portal.ru/content_687

Reference

- Kaptsov V.A., Deynego V.N. LED lighting – harm to health or benefit of energy saving? The dispute of American associations. *ENERGOSOVET*. 2016; (3). (in Russian)
- Valentinov A. Paradoxes of vision according to the whim of nature. *Chudesa i priklyucheniya*. 2005; (2): 12–3. (in Russian)
- Ostrovskiy M.A. *Vision: from Quantum of Light to Vision. Autumn Semester: Modern Neurophysiology: from Molecules to Consciousness [Zrenie: ot kvanta sveta do zreniya. Osenniy semestr: Sovremennaya neyrofiziologiya: ot molekul k soznaniyu]*. Moscow: Institut biokhimicheskoy fiziki im. N.M. Emanuelya RAN; 2014. (in Russian)
- Obrubov S.A., Khamnagdaeva N.V., Semenova L.Yu., Poryadin G.V., Salmasi Zh.M. Experimental models of axial myopia: approaches to the study of development mechanisms. *Rossiyskaya detskaya oftal'mologiya*. 2015; (2): 58–66. (in Russian)
- Luo T., Sakai Y., Wagner E., Dräger U.C. Retinoids, eye development, and maturation of visual function. *J. Neurobiol.* 2006; 66 (7): 677–86.
- Erdakova V.P. *Theoretical and Practical Principles of Designing Modern Cosmetic Products with Transdermal Activity [Teoreticheskie i prakticheskie osnovy konstruirovaniya sovremennykh kosmeticheskikh sredstv, obladayushchikh transdermal'noy aktivnost'yu]*. Biysk; 2008. (in Russian)
- Abdul Malak N., Perrier E. TAMP-1 like; a new strategy for anti-aging cosmetic formulations. In: *XX Congress of International Federation of the Societies of Cosmetic Chemists. Vol. 1. Cannes*; 1998: 79–90.
- Pashkov B.A. *Biophysical Fundamentals of Quantum Medicine. Methodical Manual for Courses in Quantum Medicine [Biofizicheskie osnovy kvantovoy meditsiny. Metodicheskoe posobie k kursam po kvantovoy meditsine]*. Moscow; 2004. (in Russian)
- Deynego V.N., Kaptsov V.A., Balashevich L.I., Svetlova O.V., Makarov F.N., Guseva M.G., et al. Prevention of eye diseases in children and adolescents in classrooms with LED light sources of the first generation. *Rossiyskaya detskaya oftal'mologiya*. 2016; (2): 57–73. (in Russian)
- Contín M.A., Benedetto M.M., Quinteros-Quintana M.L., Guido M.E. Light pollution: the possible consequences of excessive illumination on retina. *Eye (Lond)*. 2016; 30 (2): 255–63.
- Araújo A.R., Piancastelli A.C.C., Pinotti M. Effects of low-power light therapy on wound healing: LASER x LED. *An. Bras. Dermatol.* 2014; 89 (4): 616–23.
- Zak P.P. The reasons for limiting the color temperature of LED lighting in educational, preschool and medical institutions. In: *Materials of the IX International Forum on LED Technologies [Materialy IX Mezhdunarodnogo Forumy po svetodiodnym tekhnologiyam]*. Moscow; 2015. (in Russian)
- Albarracin R., Natoli R., Rutar M., Valter K., Provis J. 670 nm light mitigates oxygen-induced degeneration in C57BL/6J mouse retina. *BMC Neurosci.* 2013; 17 (14): 125.
- Vorob'ev S.P. *Spectrum of Laser Radiation [Spektr lazernogo izlucheniya]*. Available at: http://laser-portal.ru/content_687 (in Russian)

Поступила 21.11.16

Принята к печати 16.01.17