



Корреляционная зависимость между смертностью мышей в группах и высеваемостью микробов из мочи. По оси абсцисс (X) — процент смертности мышей в группах за 30 сут; по оси ординат (Y) — процент высевок кишечной палочки из мочи.

Примечание: корреляционная зависимость может быть представлена в виде типовой формулы:  $y = a + bx$  или  $y = 9,2 + 0,72x$  где  $a$  — показатель высеваемости микробов при нулевой смертности в группе;  $x$  — % смертности;  $y$  — % проб с ростом микробов;  $b$  — угловой коэффициент характеризует увеличение процента положительных посевов при увеличении смертности,  $r = 0,92$ ;  $t = 5,03$ ;  $p = 0,04$ . Коэффициент аппроксимации, характеризующий среднее отклонение практических точек от теоретической кривой ( $\epsilon = 9,3\%$ ), свидетельствует об адекватности формулы экспериментальным данным.

В группах облученных животных из 116 посевов кишечные палочки высевались в 18 (15,5±3,4%), протеи — в 34 (29,3±4,2%), энтерококки в 18 случаях (15,5±3,4%) [6]. В других опытах (46 посевов) кишечные палочки выделяли в 2 (4,3±3,0), энтерококки в 25 случаях (54,3±7,3%), а протеи не определялся. В опыте, проведенном на самках, до и после облучения высевали только энтерококки.

**Обсуждение.** Использование метода бумажных дисков дало возможность оценить выраженность микробной контаминации мочи у облученных мышей. Судя по результатам идентификации выделенных культур, среди бактерий преобладали кишечные палочки, протеи и энтерококки. Полученные результаты созвучны с данными выделения уринокультур у больных, пострадавших при аварии на Чернобыльской АЭС [7].

Использованный ранее метод посева бактериальной петлей для учета микробов в моче [1, 2] требует

большого количества чашек Петри со средой Эндо (по одной на посев). Предлагаемый метод бумажных дисков является экономичным. На поверхности питательной среды можно разместить более двадцати дисков, пропитанных мочой.

Применение метода бумажных дисков существенно расширяет методические возможности проведения экспериментов на мелких лабораторных животных (мышях). В доступной нам литературе мы не встретили описания подобного метода обнаружения микробов в моче.

**Заключение.** Для изучения микрофлоры мочи облученных мышей пригоден метод бумажных дисков. Он прост в исполнении, экономичен и демонстративен. Метод бумажных дисков целесообразно использовать для мелких лабораторных животных (мышей), у которых трудноприменимы другие методы бактериологических исследований мочи.

**Конфликт интересов** не заявляется.

Авторы выражают благодарность Виктору Николаевичу Гаевскому — сотруднику Объединенного института ядерных исследований (г. Дубна), осуществлявшему облучение животных и дозиметрическое сопровождение опытов.

#### Библиографический список

1. Меньшиков В. В. Клиническая и лабораторная аналитика. М., 2003. Т. 4. 283 с.
2. Руководство по урологии. М.: Медицина. 1998. Т. 1. 395 с.
3. Клемпарская Н. Н., Шальнова Г. А. Аутофлора как индикатор радиационного поражения организма. М., 1966. 207 с.
4. Шальнова Г. А. Метод определения количественного и качественного состава микрофлоры верхних дыхательных путей // Лаб. Дело. 1962. № 12. С. 24–26.
5. Каминский Л. С. Статистическая обработка лабораторных и клинических данных. М., 1964. 150 с.
6. Лакин Т. Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 2008. 291 с.
7. Иванов А. А., Шальнова Г. А., Уланова А. М. Инфекционные процессы у больных острой лучевой болезнью, пострадавших в результате аварии на ЧАЭС // Медицина труда и пром. экология. 2005. № 3. С. 1–7.

#### Translit

1. Men'shikov V. V. Klinicheskaja i laboratornaja analitika. M., 2003. T. 4. 283 s.
2. Rukovodstvo po urologii. M.: Medicina. 1998. T. 1. 395 s.
3. Klemparskaja N. N., Shal'nova G. A. Autoflora kak indikator radiacionnogo porazhenija organizma. M., 1966. 207 s.
4. Shal'nova G. A. Metod opredelenija kolichestvennogo i kachestvennogo sostava mikroflory verhnih dyhatel'nyh putej // Lab. Delo. 1962. № 12. S. 24–26.
5. Kaminskij L. S. Statisticheskaja obrabotka laboratornyh i klinicheskijh dannyh. M., 1964. 150 s.
6. Lakin T. F. Biometrija. M.: Vysshaja shkola, 2008. 291 s.
7. Ivanov A. A., Shal'nova G. A., Ulanova A. M. Infekcionnye processy u bol'nyh ostroj luchevoj bolezni'ju, postradavshih v rezul'tate avarii na ChAJeS // Medicina truda i prom. jekologija. 2005. № 3. S. 1–7.

УДК: 535.2; 621.373.826

Оригинальная статья

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ПРИНЦИПА НАЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ УРОВНЕЙ МНОГОЦВЕТНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

**В. А. Ивашин** — ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А. И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства», заведующий лабораторией, доцент, кандидат медицинских наук; **В. П. Соловьев** — ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А. И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства», ведущий научный сотрудник, кандидат медицинских наук.

## EXPERIMENTAL VERIFICATION OF THE IMPOSING PRINCIPLE FOR MAXIMUM PERMISSIBLE LEVELS OF MULTI-COLOR LASER RADIATION

**V.A. Ivashin** — State Scientific Research Center n.a. A.I. Burnazyan — Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Head of laboratory, Candidate of medical sciences; **V.P. Solovyov** — State Scientific Research Center n.a. A.I. Burnazyan — Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, leading researcher, Candidate of medical sciences.

Дата поступления — 18.11.2013 г.

Дата принятия в печать — 16.12.2013 г.

**Ивашин В.А., Соловьев В.П.** Экспериментальная проверка принципа наложения для предельно допустимых уровней многоцветного лазерного излучения // Саратовский научно-медицинский журнал. 2013. Т. 9, № 4. С. 892–894.

Представлены результаты проведенных экспериментальных исследований с целью проверки принципа наложения для предельно допустимых уровней многоцветного лазерного излучения при однократном воздействии на глаз. Этот принцип независимости воздействия излучения с каждой длиной волны (принцип наложения) был заложен и обобщен на широкий диапазон условий воздействия. Экспериментальная же проверка такого подхода применительно к воздействию лазерного излучения на ткани глазного дна, как показывает анализ литературы, не проводилась. *Материал и методы.* Был задействован экспериментальный лазер, генерирующий излучение с длинами волн:  $\lambda_1=0,532$  мкм,  $\lambda_2=0,556\div 0,562$  мкм и  $\lambda_3=0,619\div 0,621$  мкм. Эксперименты проведены на глазах кроликов с равномерно пигментированным глазным дном. *Результаты.* При сравнении результатов обработки полученных экспериментальных данных с расчетными данными показано, что полученные уровни близки по своим параметрам. *Выводы.* Впервые в РФ проведены экспериментальные исследования по изучению действия многоцветного лазерного излучения на орган зрения. Ввиду объективного совпадения экспериментальных данных с расчетными данными можно сделать вывод, что математические расчетные формулы работают.

**Ключевые слова:** многоцветное лазерное излучение, глаз, ПДУ, расчетные уровни, экспериментальная проверка.

**Ivashin V.A., Solovyev V.P.** Experimental verification of the imposing principle for maximum permissible levels of multicolor laser radiation // *Saratov Journal of Medical Scientific Research*. 2013. Vol. 9, № 4. P. 892–894.

*Aims.* The study presents the results of experimental research to verify the principle overlay for maximum permissible levels (MPL) of multicolor laser radiation single exposure on eyes. This principle of the independence of the effects of radiation with each wavelength (the imposing principle), was founded and generalized to a wide range of exposure conditions. Experimental verification of this approach in relation to the impact of laser radiation on tissue fundus of an eye, as shows the analysis of the literature was not carried out. *Material and methods.* Was used in the experimental laser generating radiation with wavelengths:  $\lambda_1=0,532$  microns,  $\lambda_2=0,556$  to  $0,562$  microns and  $\lambda_3=0,619$  to  $0,621$   $\mu\text{m}$ . Experiments were carried out on eyes of rabbits with evenly pigmented eye bottom. *Results.* At comparison of results of processing of the experimental data with the calculated data it is shown that these levels are close by their parameters. *Conclusions.* For the first time in the Russian Federation had been performed experimental studies on the validity of multi-colored laser radiation on the organ of vision. In view of the objective coincidence of the experimental data with the calculated data, we can conclude that the mathematical formulas work.

**Key words:** multi-colored laser radiation, eye, remote control, estimated levels of experimental checking.

**Введение.** В настоящее время постоянно увеличивается количество типов лазеров, излучающих одновременно на нескольких длинах волн при различном распределении энергии по спектру. К ним относятся лазеры с преобразованием излучения в различные гармоники, жидкостные многоканальные лазеры, лазеры на парах металлов, лазеры, использующие явление вынужденного комбинационного рассеяния и другие. Увеличение области применения этих лазеров в науке, технике и народном хозяйстве расширяет круг лиц, контактирующих с ними. Это делает весьма актуальными вопросы определения предельно допустимых уровней (ПДУ) таких излучений.

При теоретическом определении ПДУ лазерного излучения известно, что если исходить из чисто теплового механизма повреждения биологической ткани, то при одновременном и соосном воздействии на глаз  $N$  пучков излучения с различными длинами волн (при длительности импульса  $\tau_{ui} \leq 10^{-5}$  с) вследствие независимости воздействия каждого пучка ПДУ (плотность энергии) такого многоцветного излучения в плоскости роговой оболочки глаза  $W_{E\text{без.}}(\Sigma\lambda)$  связан с ПДУ для каждого пучка соотношением:

$$W_{E\text{без.}}(\Sigma\lambda) = \left[ \sum_{i=1}^N a_i / W_{E\text{без.}}(\lambda_i, \tau_{ui}, \sigma_i) \right]^{-1}, \quad (1)$$

где  $a_i$  — доля излучения с длиной волны  $\lambda_i$  в общем потоке, падающем в глаз;  $W_{E\text{без.}}(\lambda_i, \tau_{ui}, \sigma_i)$  — ПДУ излучения с длиной волны  $\lambda_i$ , длительностью импульса  $\tau_{ui}$  при нормальном распределении плотности энергии в пятне на глазном дне с параметром  $\sigma_i$ .

Этот принцип независимости воздействия излучения с каждой длиной волны (принцип наложения) был заложен [1] и обобщен на широкий диапазон условий воздействия. Экспериментальная же проверка такого подхода применительно к воздействию лазерного излучения на ткани глазного дна, как показывает анализ литературы, не проводилась.

*Цель:* экспериментальная проверка принципа независимости действия лазерного излучения с различными длинами волн при определении ПДУ многоцветного излучения для глаза в случае однократного воздействия.

Критерием его справедливости служило выполнение для пороговых повреждений соотношения

$$E_{\text{пор.}}(\Sigma\lambda) = \left[ \sum_{i=1}^N a_i / E_{\text{пор.}i} \right]^{-1}, \quad (2)$$

где  $E_{\text{пор.}}(\Sigma\lambda)$  и  $E_{\text{пор.}i}$  — энергия в импульсе многоцветного излучения и излучения с длиной волны  $\lambda_i$  соответственно, вызывающая с вероятностью 0,5 в заданный срок появление минимального офтальмо-скопически наблюдаемого повреждения.

**Ответственный автор** — Ивашин Владимир Алексеевич  
Адрес: 123182, Москва, ул. Живописная, д. 46.  
Тел.: 8 (499) 1909473  
E-mail: vivashin@fmbcfmba.ru

При офтальмоскопическом обследовании вероятность обнаружения минимальных изменений на глазном дне зависит от опыта экспериментатора, особенностей его цветового зрения и характера пигментации тканей глазного дна облучаемого объекта [2]. В связи с этим для повышения надежности результата была поставлена еще и контрольная серия экспериментов, в которой использовался более жесткий критерий — выполнение соотношения (2) при условии появления четко выраженных очагов размером не менее 0,4 мм.

Распространение принципа независимости действия излучений с различными длинами волн на эту область уровней энергии является в некоторой мере упрощенным представлением механизма взаимодействия излучения с тканями глазного дна, так как характер изменения оптических свойств этих тканей в процессе их повреждения лазерным излучением в настоящее время еще полностью не изучен.

**Материал и методы.** Все эксперименты выполнены на глазах кроликов породы шиншилла с равномерной средней пигментацией глазного дна, не имеющих каких-либо клинически выявляемых дефектов прозрачных сред. Зрачки перед воздействием расширяли инстилляцией 0,1% раствора атропина сульфата.

Офтальмоскопический осмотр и измерение размеров очагов поражения глазного дна проводили через 1 мин, 1 час и 24 часа после воздействия. Установлено, что через сутки проявлялись минимальных размеров очаги, не наблюдаемые в более ранние сроки. Измерение размеров очагов на глазном дне осуществляли с помощью прибора ретинофот фирмы «Карл Цейс» со встроенной мерной сеткой или же прибора электроофтальмоскоп ЭО-01, снабженного специальной измерительной насадкой. При этом отмечено, что размеры очагов увеличивались со временем, достигая максимума через сутки. Очаги порогового повреждения представляли собой округлые участки коагуляции тканей глазного дна серовато-белого цвета диаметром 0,1–0,15 мм.

Пучок многоцветного излучения имел в плоскости роговой оболочки глаза размер 6,5×5,5 мм и расходимость 25–30 угловых минут.

Лазер, включающий в себя продольно накачиваемую кювету с органическими красителями, обеспечивал одновременную генерацию излучения следующего спектрального состава:  $\lambda_1=0,532$  мкм;  $\lambda_2=0,556\div0,562$  мкм и  $\lambda_3=0,619\div0,621$  мкм (ширина полосы излучения красителей дана по уровню интенсивности 0,5).

Распределение энергии по спектру несколько варьировало от импульса к импульсу, и в среднем доля энергии на каждой длине волны составляла соответственно 23, 14 и 63%.

Расчет по (2) для такого многоцветного излучения показывает, что пороговая энергия в случае контроля наличия минимальных повреждений через 5 мин после воздействия составляет  $1,42\times 10^{-5}$  Дж, а энергия, необходимая для образования очага размером не менее 0,4 мм при условии измерения его через 1 мин после воздействия —  $3,37\times 10^{-5}$  Дж.

Для компенсации влияния нестабильности распределения энергии по спектру в каждой серии экспериментов набирали достаточно большие массивы данных: так, основная серия выполнена на 18 глазах, проведено 268 облучений, а контрольная серия на 12 глазах, 196 облучений.

Массивы обрабатывались методом пробит-анализа по Литчфилду — Уилкоксону в модификации Рота, аналогичным описанному в [3].

Суммарная энергия в импульсе варьировала от  $10^{-6}$  до  $10^{-4}$  Дж и измерялась при каждом облучении с погрешностью не более 30%.

**Результаты.** В результате обработки экспериментальных данных получено, что пороговая энергия, соответствующая указанным выше условиям, равна  $1,6\times 10^{-5}$  Дж (расчетная составляет  $1,42\times 10^{-5}$  Дж). Доверительный интервал ее значений при доверительной вероятности 0,95 составляет  $(1,4\div 1,95)\times 10^{-5}$  Дж.

Энергия для образования очага размером не менее 0,4 мм составляет  $3,2\times 10^{-5}$  Дж (расчетная  $3,37\times 10^{-5}$  Дж), при доверительном интервале  $(2,8\div 3,8)\times 10^{-5}$  Дж.

Как видно, расчетные значения энергии находятся в пределах соответствующих доверительных интервалов экспериментальных результатов.

**Заключение.** Таким образом, полученные результаты экспериментально подтверждают справедливость принципа независимости действия излучений с различными длинами волн в видимой части спектра не только в области ПДУ, но и при более высоких уровнях энергии (по крайней мере, до уровней, вызывающих очаги размером не менее 0,4 мм) в случае однократного кратковременного воздействия.

Вопрос о применимости этого принципа к ПДУ в случае длительных, а тем более хронических воздействий лазерного излучения видимого диапазона остается открытым, так как в этих ситуациях механизм возникновения минимальных повреждений биологических тканей является не чисто тепловым, а имеет в коротковолновой части спектра главным образом фотохимическую природу [4, 5].

**Конфликт интересов** отсутствует.

#### Библиографический список

1. СанПиН 5804–91. Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров. М., 1991.
2. Анализ повреждений глаза лазерным излучением для обоснования коэффициента межвидовой экстраполяции / А. Д. Климов, Г. И. Желтов, В. И. Могутов [и др.] // Гигиена и санитария. М., 1993. Вып. 5. С. 41–43.
3. Березин Ю. Д., Гудаковский Ю. П., Комягин К. Г. О зависимости предельно допустимых уровней импульсного излучения от длительности импульса // Импульсная фотометрия. Л., 1978. Вып. 5. С. 37–41.
4. Ham W. T., Muller N. A., Sliney D. H. Retinal sensitivity to damage from short wavelength light // Nature. 1976. Vol. 260, No 5547. P. 153–154.
5. Плетнев С. Д. Лазеры в клинической медицине: рук-во для врачей. М., 1996.

#### Translit

1. SanPiN 5804–91. Sanitarnye normy i pravila ustrojstva i jekspluatácii lazerov. M., 1991.
2. Analiz povrezhdenij glaza lazernym izlucheniem dlja obosnovanija koeficienta mezhvidovoj jekstrapoljicii / A. D. Klimov, G. I. Zheltov, V. I. Mogutov [i dr.] // Gigena i sanitarija. M., 1993. Vyp. 5. S. 41–43.
3. Berезin Ju. D., Gudakovskij Ju. P., Komjagin K. G. O zavisimosti predel'no dopustimyh urovnej impul'snogo izluchenija ot dlitel'nosti impul'sa // Impul'snaja fotometrija. L., 1978. Vyp. 5. S. 37–41.
4. Ham W. T., Muller N. A., Sliney D. H. Retinal sensitivity to damage from short wavelength light // Nature. 1976. Vol. 260, No 5547. P. 153–154.
5. Pletnev S. D. Lazery v klinicheskoj medicene: ruk-vo dlja vrachej. M., 1996.