

## ПОРТАТИВНАЯ РАДИОМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА И ВОЗМОЖНОСТИ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ В ДАКРИОСЦИНТИГРАФИИ

С. В. ПАНКИН<sup>1,2</sup>, А. И. СЮРДО<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>УрФУ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, 620002, Екатеринбург, Россия  
E-mail: savva.pankin@urfu.ru

<sup>2</sup>Институт физики металлов им. М. Н. Михеева УрО РАН, 620108, Екатеринбург, Россия

Патология слезоотводящих путей объединяет целую группу заболеваний, влияющих на работу всего зрительного аппарата. Для оценки проходимости путей допускается применение радионуклидных методов. Однако имеется ряд ограничений, связанных с малыми размерами объектов исследования и дозовой нагрузкой на хрусталик глаза. Последняя зависит от активности вводимого радиофармпрепарата, проходимости слезоотводящих путей и необходимой статистики счета для получения достоверного диагностического результата. Изучена возможность применения разработанной портативной радиометрической системы (ПРС) в режиме динамической сцинтиграфии для дакриосцинтиграфических исследований слезоотводящей системы. С целью достижения наилучшего соотношения „диагностический результат / дозовая нагрузка на хрусталик“ предложен алгоритм расчета оптимальной активности вводимого препарата. Для экспериментальной проверки предложенной методики проведения дакриосцинтиграфии с применением ПРС разработана и изготовлена фантомная модель слезоотводящей системы. Сравнительное тестирование на ней ПРС и однофотонного эмиссионного компьютерного томографа показало, что при дакриосцинтиграфии ПРС обеспечивает более высокую эффективность регистрации излучений. Повышенная эффективность регистрации позволит либо увеличить число типовых дакриосцинтиграфических исследований, либо значительно уменьшить временные окна у ПРС и, как следствие, исследовать более тонкую структуру динамических кривых.

**Ключевые слова:** радионуклидная диагностика, радиофармпрепарат, гамма-излучение, сцинтиграфия, слезоотводящая система, хрусталик глаза

**Введение.** Слезотводящая система обеспечивает важное для функционирования зрительных органов своевременное удаление избытка слезной жидкости с поверхности глаза [1]. Скорость слезоотведения зависит от проходимости слезоотводящих канальцев [2], которые располагаются в углу глаза. Так, движение слезной жидкости начинается на поверхности глаза (рис. 1, 1), откуда она стекает в слезное озеро (2) и через слезные точки по слезным канальцам (3) попадает в слезный мешок (4).

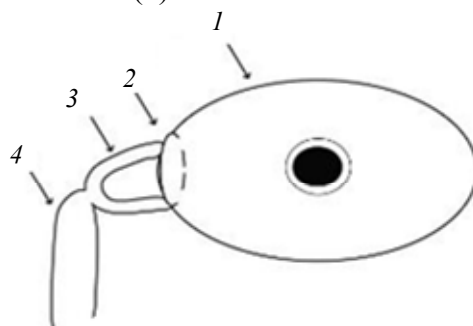


Рис. 1

Современные стандартные методы оценки проходимости слезоотводящих путей основываются на визуальном контроле перемещения флуоресцентного красителя по поверхности

глаза и его поступлении в слезный мешок [3]. Для более точной количественной оценки динамики слезоотведения могут также проводиться скинтиграфические исследования с применением однофотонного эмиссионного компьютерного томографа (ОФЭКТ). Одной из разновидностей скинтиграфических методов является динамическое исследование слезоотводящей системы, или дакриосцинтиграфия, применяемая для оценки периодов полувыведения радиофармпрепарата (РФП) с поверхности глаза и из слезного мешка, а также выявления преимущественных мест локализации РФП.

При радионуклидных исследованиях слезоотводящей системы (см. рис. 1) на поверхность глаза наносится РФП со стандартной активностью 4—5 МБк [4]. В этом случае риску повышенного облучения подвергается хрусталик глаза, который является критическим органом, особо чувствительным к воздействию бета- и мягкого рентгеновского излучения\*.

Наряду с указанным имеется еще ряд связанных с малостью размеров объектов исследования и особенностями работы с РФП в лечебных учреждениях причин, осложняющих применение радионуклидной диагностики слезоотводящей системы [5].

Созданная нами портативная радиометрическая система (ПРС) содержит четыре малогабаритных детекторных модуля, обладающих повышенной эффективностью регистрации и позволяющих разместить их в непосредственной близости ~5—10 мм от компонентов слезоотводящей системы (см. рис. 1). Поэтому целями настоящей работы являлись разработка методики применения ПРС в дакриосцинтиграфии, ее апробация на фантомной модели слезоотводящей системы, а также сравнение с подобной методикой, реализуемой на ОФЭКТ-системах.

**Используемая аппаратура.** Портативная радиометрическая система (рис. 2), разработанная на кафедре экспериментальной физики Уральского федерального университета [6], обладает рядом преимуществ в сравнении с ОФЭКТ. Так, одним из преимуществ ПРС является более высокая эффективность регистрации излучения. Каждый детекторный модуль ПРС снабжен индивидуальным коллиматором и может быть позиционирован в индивидуальной проекции по отношению к исследуемому объекту. Повышенная эффективность регистрации позволяет улучшить статистику счета, а следовательно, проводить динамические исследования с меньшими временными окнами для более детальной записи динамических кривых.

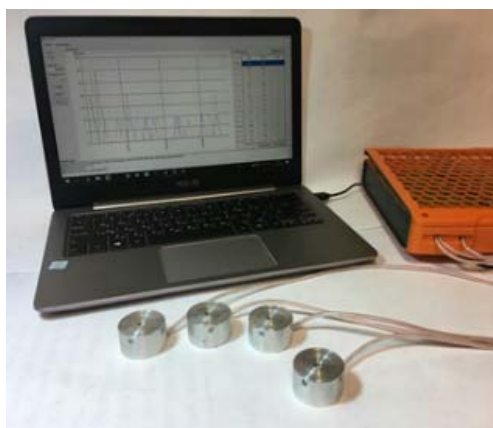


Рис. 2

ПРС включает четыре детекторных модуля гамма-излучения, оснащенных набором сменных коллиматоров, параметры которых подбираются так, чтобы получить требуемое в соответствии с решаемыми задачами пространственное разрешение и эффективно оценивать изменение интенсивности излучения в исследуемых зонах. Детекторные модули ПРС изготовлены с использованием полупроводниковых фотоумножителей типа MicroFC-30035-SMT

\* СанПин 2.6.1.2523(09). Нормы радиационной безопасности (НРБ (99/2009)). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 101 с.

и сцинтилляционных кристаллов CsI(Tl), что позволило значительно сократить габариты и регистрировать гамма-излучение в диапазоне энергий 100—250 кэВ с достаточной для проведения диагностики эффективностью [7].

**Методы и методики.** При проведении дакриосцинтиграфии оценивается время, за которое введенный на поверхность глаза РФП через слезные точки по слезоотводящему каналу перемещается в слезный мешок. В частности, оценивается изменение интенсивности излучения, регистрируемой в зоне слезного озера, а именно время, за которое интенсивность снизится в два раза, называемое периодом полувыведения [8]. Определяющую роль при выборе временного разрешения играет быстрая фаза слезоотведения с примерной длительностью не менее 150 с [9]. Так, с учетом необходимости наличия на соответствующем участке динамической кривой не менее пяти точек, можно подобрать временное окно  $\Delta t$ , величина которого должна быть не более  $150/5=30$  с. Однако существенное уменьшение  $\Delta t$  может ухудшить статистику счета. Тем не менее, при прочих равных условиях имеющийся у ПРС запас по чувствительности, в сравнении с ОФЭКТ-системами или гамма-камерами, позволяет уменьшить  $\Delta t$  в  $\sim 10$  раз или до  $\sim 2$  с, что может быть использовано, например, для более тщательного изучения быстрой фазы слезоотведения с целью выявления возможной тонкой структуры и связанных с ней аномалий.

Особый интерес в связи с предоставляемой ПРС возможностью существенного уменьшения временных окон вызывает апробация предложенной в [10] методики углубленного анализа динамических кривых. Согласно [10], зависимость интенсивности излучения от времени в области слезного озера можно описать функцией типа:

$$I(t) = I_0 \exp \left[ -kt - \left( 1 - \frac{k}{\beta} \right) \ln \left( \frac{1+r}{1+re^{-\beta t}} \right) \right], \quad (1)$$

где  $I_0$  — интенсивность излучения в момент введения РФП (имп./с),  $\beta$  — коэффициент оттока слезной жидкости ( $\text{с}^{-1}$ ),  $k$  — коэффициент притока слезной жидкости ( $\text{с}^{-1}$ ),  $r$  — отношение добавленного объема слезной жидкости в начальный момент времени (включая рефлекторную секрецию) к ее объему, присутствующему в начальном состоянии.

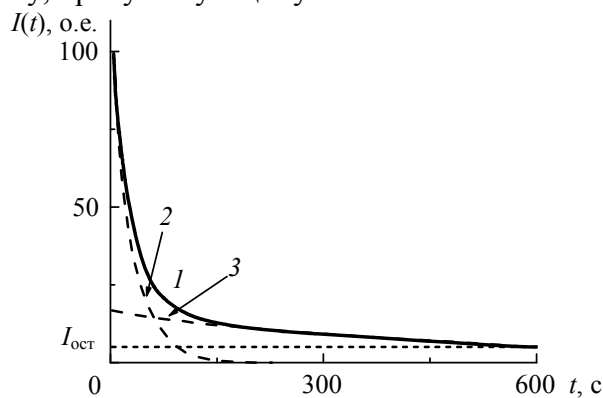


Рис. 3

Функция (1) изображена на рис. 3 (кривая 1). Для оценки эффективности слезоотведения авторами [10] предложен алгоритм, в соответствии с которым на кривой изменения интенсивности излучения от времени выделяются быстрая (рис. 3, 2) и медленная (3) экспоненциальные составляющие. Чтобы получить статистически значимые результаты при анализе с использованием указанной функции динамических кривых слезоотведения, требуется достаточно высокая активность вводимого РФП [11]. Ее минимально необходимый уровень  $A$  рассчитывается с учетом требований к точности определения интенсивности излучения  $I_{\text{ост}}$ , соответствующей остаточной активности во время перехода от быстрой фазы к медленной (см. рис. 3). Величина  $I_{\text{ост}}$  связана с количеством оставшегося РФП в слезном озере и составляет обычно  $\sim 10\%$  от  $I_0$ . При реализации методики критически важно, чтобы ошибка  $\Delta I$  при опре-

деления значения интенсивности изучения была не более  $0,05I_{\text{ост}}$  и при количестве измерений  $n = 2$  находилась бы в заданном интервале с вероятностью  $P = 0,95$ . Для расчета активности вводимого РФП предлагается использовать следующий алгоритм.

1. Сначала оцениваются величина  $\Delta I$ , которая может быть выражена через критерий Стьюдента  $t_{\text{ст}}$  и определяемое экспериментально среднеквадратичное отклонение  $\sigma$ :

$$\Delta I = \sigma t_{\text{ст}}.$$

2. Затем рассчитываются максимальная ( $I_0$ ) и минимальная ( $I_{\text{ост}}$ ) интенсивность:

$$\Delta I = 0,05I_{\text{ост}},$$

$$I_0 = \frac{I_{\text{ост}}}{0,1} = \frac{\sigma t_{\text{ст}}}{0,005}.$$

3. Из известного выражения для геометрической эффективности коллиматора  $G$  [11], связывающего эффективность регистрации излучения детекторным модулем ПРС  $h$ , активность  $A$  и площадь сечения источника излучения  $S$ , можно выразить:

$$A = \frac{IS}{Gh} = \frac{I_0 S}{Gh} = \frac{\sigma t_{\text{ст}} S}{0,005Gh}. \quad (2)$$

Используя выражение (2), можно оценить минимально требуемую активность  $A$  для получения статистически достоверного результата дакриосцинтиграфических исследований. Он может быть достигнут, если ошибка  $E$  не будет превышать  $\Delta I / I_{\text{ост}} \leq 0,05$  или  $E \leq 0,05$ . Величина  $\sigma$  определялась в [12] экспериментально, и при  $\Delta t = 30$  с она составила  $3,5 \text{ с}^{-1}$ . Для коллиматора конического типа, используемого в детекторном модуле при подобных исследованиях, в [12] были рассчитаны  $S = 1,1 \text{ см}^2$ ,  $G = 0,0028 \text{ см}^2$ ,  $h = 0,42$ . Для  $n = 2$  и  $P = 0,95$  выбрано  $t_{\text{ст}} = 12,7$  [12]. Тогда из (2) получим  $A = 1,1 \text{ МБк}$ , что меньше стандартного для ОФЭКТ-систем в  $\sim 3,6$  раза. Таким образом, можно заключить, что при дакриосцинтиграфических исследованиях с использованием ПРС можно существенно уменьшить величину вводимой активности. Преимущество может быть использовано для значительного снижения дозовой нагрузки на хрусталик глаза и проведения не менее трех таких исследований. Кроме того, появляется возможность уменьшить временное окно при динамическом исследовании вплоть до 1,2 с при введении стандартных 4 МБк.

**Фантомная модель слезоотводящей системы.** Согласно рассмотренной методике ПРС тестировалась на специально разработанной и изготовленной в соответствии с антропометрическими данными [13] фантомной модели слезоотводящей системы. Для упрощения конструкции фантома было смоделировано наиболее распространенное физиологическое состояние, при котором функционирует один из слезных канальцев [5]. Глазное яблоко было изготовлено из льда, медленное таяние которого имитирует приток слезной жидкости на его поверхность. Более того, медленное таяние льда в фантоме приводит, как в реальном глазе при моргании, к обновлению пленки слезной жидкости и быстрому стеканию РФП в слезное озеро. Отток жидкости из слезного озера в слезный мешок происходит в фантоме благодаря специальному впитывающему материалу, расположенному в слезоотводящем канальце.

На рис. 4 приведена блок-схема разработанного фантома слезоотводящей системы [15]. Вблизи каждой из интересующих и смоделированных зон помещены три детекторных модуля ПРС ( $I'$ ,  $I''$ ,  $I'''$ ). Вводимый шприцевым дозатором (2) на поверхность глаза (3) РФП омывает ее и постепенно смешивается со слезной жидкостью на поверхности глаза. Раствор РФП стекает в слезное озеро (4), откуда через слезный канал (5) постепенно выводится в слезный мешок (6).

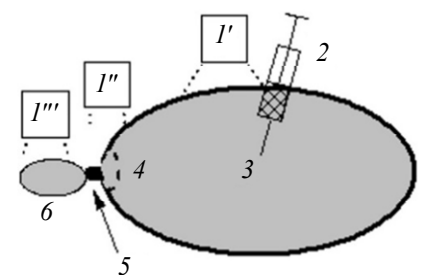


Рис. 4

**Тестирование ПРС на фантоме.** Предложенные выше методики оценки функции слезоотводящей системы проверены в ходе фантомного тестирования, проведенного для ПРС совместно с ОФЭКТ. На подготовительном этапе детекторные модули ПРС устанавливались вблизи каждой из моделируемых в фантоме зон слезоотводящей системы, после чего фантомная модель помещалась в поле зрения детекторной подсистемы ОФЭКТ. Для демонстрации возможности повышения временного разрешения при работе с ПРС значения временных окон  $\Delta t$  для ПРС и ОФЭКТ были выбраны равными 5 и 15 с соответственно. При этом активность вводимого на поверхность глаза РФП составляла стандартные  $\sim 4$  МБк [15].

Одним из результатов тестирования стали полученные зависимости изменения интенсивности излучения от времени в слезном озере, представленные на рис. 5 отдельно для ПРС (а) и ОФЭКТ (б). На вставках к рис. 5 дополнительно приведены фрагменты быстрых составляющих процесса слезоотведения. Из их анализа следует, что в случае ПРС быстрые компоненты могут быть исследованы более детально из-за значительно меньшего использованного временного окна. Более того, если быстрый компонент будет содержать некую особенность, например, в виде перегиба, то увеличенное временное окно, используемое в ОФЭКТ, не позволит ее достоверно выявить.

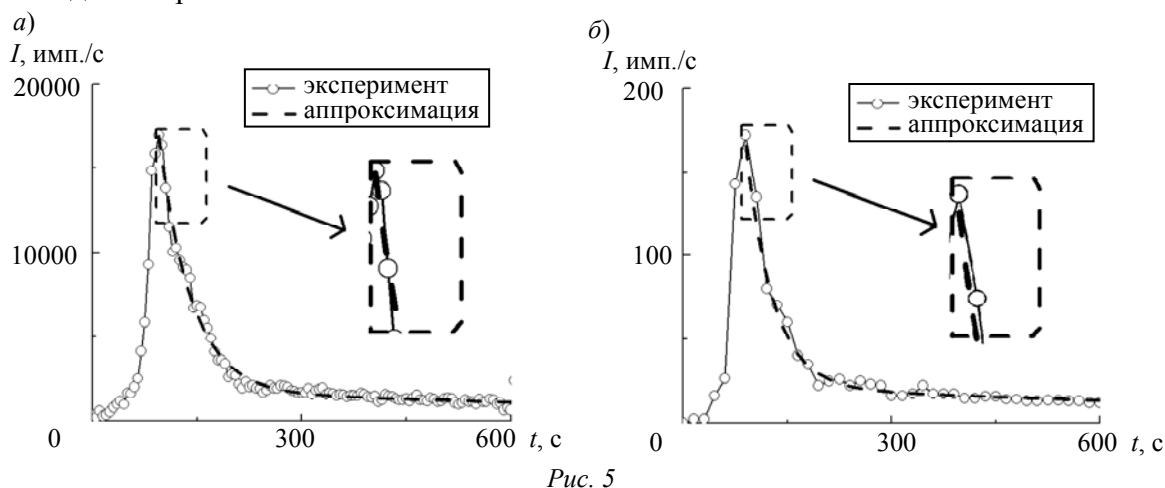


Рис. 5

Для характеристики процесса слезоотведения проведена аппроксимация полученных зависимостей с использованием уравнения (1). В таблице суммированы определенные по (1) коэффициенты  $\beta$ ,  $k$  и  $r$ , связанные с динамикой слезоотведения, а также ошибки их определения  $E$ . Важно отметить, что при подборе коэффициентов  $\beta$ ,  $k$  и  $r$  с помощью пакета Origin, учитывалась информация из [10] о физически обоснованных диапазонах их изменения:  $0,0001 \leq k = 0,01 \text{ с}^{-1}$ ,  $0,01 \leq \beta \leq 0,1 \text{ с}^{-1}$  и  $1 \leq r \leq 100$  о.е. Как видно из таблицы, коэффициенты  $\beta$ ,  $k$  и  $r$ , определенные из данных ПРС и ОФЭКТ, достаточно близки. Однако вычисленные ошибки  $E$  из ПРС-данных меньше в 1,5—2 раза (значение  $E$  напрямую зависит от точности описания быстрого компонента ниспадающей части кривой и оно возрастает при увеличении временного окна  $\Delta t$ ).

**Динамические параметры слезоотводящей системы,  
вычисленные на основе экспериментальных данных**

Параметр	Используемая система					
	ПРС			ОФЭКТ		
	$k, \text{с}^{-1}$	$\beta, \text{с}^{-1}$	$r, \text{с}^{-1}$	$k, \text{с}^{-1}$	$\beta, \text{с}^{-1}$	$r, \text{с}^{-1}$
Вычисленное значение	0,0010	0,0215	74,17	0,0015	0,0253	70,53
Ошибка $E$ при $n = 2, P$	0,0004	0,0006	4,14	0,0005	0,0011	6,69

**Заключение.** Разработанная портативная радиометрическая система может быть использована для оценки эффективности функционирования слезоотводящей системы и выявления ее патологий. Применение ПРС позволяет реализовать методики дакриосцинтиграфии с меньшими значениями активности без потери информативности исследования, а также про-

водить анализ более тонкой структуры динамических кривых. Кроме того, сравнительные исследования возможностей ПРС и ОФЭКТ, проведенные на разработанном фантоме слезоотводящей системы, показали, что с помощью ПРС динамические коэффициенты слезоотведения, характеризующие приток, отток и добавление слезной жидкости, могут быть определены со значительно меньшей ошибкой.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (тема „Экспертиза“, № АААА-А19-119062590007-2) при частичной поддержке РФФИ (проект № 20-48-660045).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ободов В. А.* Травматические дакриоциститы и облитерации слезоотводящих путей: Практическое руководство. М.: Изд-во „Офтальмология“, 2015. С. 8—29.
2. *Javadi M.-A., Feizi S.* Dry Eye Syndrome // *J. Ophthalmic Vis Res.* 2011. Vol. 6, N 3. P. 192—198.
3. *Ободов В. А., Бастриков Н. И.* Болезни слезных органов и способы их лечения: Руководство для врача. Ростов-на-Дону: Феникс, 2007. 185 с.
4. *Rose J. D., Clayton C. B.* Scintigraphy and contrast radiography for epiphora // *The British Journal of Radiology.* 1985. Vol. 58, N 696. P. 1183—1186.
5. *Paulsen F. P., Schaudig U.* Drainage of Tears: Impact on the Ocular Surface and Lacrimal System // *Clinical Science the ocular surface.* 2003. Vol. 1, N 4. P. 180—191.
6. *Pankin S. V., Surdo A. I., Krotov A. D., Sarychev M. N., Pankin V. V., Zelenin A. V., Kruzhalov A. V.* A portable radiometric system for nuclear medicine // *Radiation Measurements.* 2019. Vol. 121. P. 10—12.
7. *Панкин С. В., Сарычев М. Н., Панкин В. В., Сурдо А. И., Кротов А. Д., Иванов В. Ю., Зеленин А. В.* Портативная радиометрическая система для радионуклидной диагностики // *АНРИ.* 2018. № 2(93). С. 40—47.
8. *Detorakis T. E., Zissimopoulos A., Ioannakis K., Kozobolis V. P.* Lacrimal Outflow Mechanisms and the Role of Scintigraphy: Current Trends // *World Journal of Nuclear Medicine.* 2014. Vol. 13, N 1. P. 16—21.
9. *Amanat L. A., Hilditch T. E., Kwok C. S.* Lacrimal scintigraphy. Its role in the diagnosis of epiphora // *British Journal of Ophthalmology.* 1983. Vol. 67, N 11. P. 720—728.
10. *Malbouisson J. M., Bittar M. D., Obeid H. N., Guimarães F. C., Velasco e Cruz A. A.* Quantitative study of the effect of dacryocystorhinostomy on lacrimal drainage // *Acta Ophthalmol Scand.* 1997. Vol. 75, N 3. P. 290—294.
11. *Сухов В. Ю., Поспелов В. А.* Методики радионуклидной диагностики: методические рекомендации. 2015 г. СПб, 2016. 28 с.
12. *Pankin S. V., Surdo A. I., Pankin V. V., Zelenin A. V.* A portable radiometric system for evaluating lacrimal drainage // *Abstract book of the 7th Intern. Congr. on radiation physics, high current electronics and modification of materials.* Tomsk, 2020. P. 484.
13. *Bum B. B.* Строение зрительной системы человека. Одесса: Астропринт, 2010. 664 с.
14. *Beck R. N.* Collimators for radioisotope scanning systems – medical radioisotope scanning. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1964. P. 211—232.

#### Сведения об авторах

**Савва Викторovich Панкин**

— УрФУ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина; Институт физики металлов им. М. Н. Михеева УрО РАН, лаборатория интеллектуальных технологий диагностики; младший научный сотрудник; E-mail: savva.pankin@urfu.ru

**Александр Иванович Сурдо**

— д-р физ.-мат. наук, профессор; УрФУ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина; Институт физики металлов им. М. Н. Михеева УрО РАН, лаборатория интеллектуальных технологий диагностики; главный научный сотрудник; E-mail: surdo@imp.uran.ru

Поступила в редакцию  
13.05.2021 г.

**Ссылка для цитирования:** Панкин С. В., Сурдо А. И. Портативная радиометрическая система и возможности ее применения в дакриосцинтиграфии // Изв. вузов. Приборостроение. 2021. Т. 64, № 8. С. 680—687.

## PORTABLE RADIOMETRIC SYSTEM AND THE POSSIBILITIES OF ITS APPLICATION IN DACRYOSCINTIGRAPHY

S. V. Pankin<sup>1,2</sup>, A. I. Surdo<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Ural Federal University, 620002, Ekaterinburg, Russia

E-mail: savva.pankin@urfu.ru

<sup>2</sup>M.N. Mikheev Institute of Metal Physics of the Ural Branch of the RAS, 620108, Ekaterinburg, Russia

The pathology of the lacrimal duct unites a whole group of diseases that affect the work of the entire visual apparatus. To assess their patency, the use of radionuclide diagnostic techniques is allowed. However, there are several limitations associated with the small size of the objects under study and with the dose load on the lens of the eye. The latter depends on the activity of the injected radiopharmaceutical, the patency of the lacrimal ducts and the necessary counting statistics to obtain a reliable diagnostic result. The possibility of using the developed portable radiometric system (PRS) in the dynamic scintigraphy mode for dacryoscintigraphic studies of the lacrimal system is studied. To achieve the best ratio "diagnostic result / dose load on the lens", an algorithm for calculating the optimal activity of the injected drug is proposed. For experimental verification of the presented method of dacryoscintigraphy using PRS, a phantom model of the lacrimal system is developed and manufactured. Comparative testing of the PRS and a single-photon emission computed tomography showed that with dacryoscintigraphy, the PRS will have a higher radiation detection efficiency. The increased efficiency of registration either can increase the number of typical dacryoscintigraphic examinations or significantly reduce the time windows in the PRS and, therefore, investigate the finer structure of dynamic curves. исследовать более тонкую структуру динамических кривых.

**Keywords:** radionuclide diagnostics, radiopharmaceutical, gamma radiation, scintigraphy, lacrimal system, lens

### REFERENCES

1. Obodov V.A. *Travmaticheskiye dakriotsistity i obliteratsii slezootvodyashchikh putey: Prakticheskoye rukovodstvo* (Traumatic Dacryocystitis and Obliteration of the Lacrimal Duct: A Practical Guide) Moscow, 2015, pp. 8–29. (in Russ.)
2. Javadi M.-Ali, Sepehr F. *J. Ophthalmic Vis. Res.*, 2011, no. 3(6), pp. 192–198.
3. Obodov V.A. Bastrikov N.I. *Bolezni slезnykh organov i sposoby ikh lecheniya: Rukovodstvo dlya vracha* (Diseases of the Lacrimal Organs and Methods of Their Treatment: A Guide for a Physician), Rostov-on-Don, 2007, 185 p. (in Russ.)
4. Rose J.D., Clayton C.B. *The British Journal of Radiology*, 1985, no. 696(58), pp. 1183–1186.
5. Paulsen F.P., Schaudig U. *Clinical Science the ocular surface*, 2003, no. 4(1), pp. 180–191.
6. Pankin S.V., Surdo A.I., Krotov A.D., Sarychev M.N., Pankin V.V., Zelenin A.V., Kruzhalov A.V. *Radiation Measurements*, 2019, vol. 121, pp. 10–12.
7. Pankin S., Sarychev M., Pankin V., Surdo A., Krotov A., Ivanov V., Zelenin A. *ANRI*, 2018, no. 2(93), pp. 40–47. (in Russ.)
8. Detorakis T.E., Zissimopoulos A., Ioannakis K., Kozobolis V.P. *World Journal of Nuclear Medicine*, 2014, no. 1(13), pp. 16–21.
9. Amanat L.A., Hilditch T.E., Kwok C.S. *British Journal of Ophthalmology*, 1983, no. 11(67), pp. 720–728.
10. Malbouisson J.M., Bittar M.D., Obeid H.N., Guimarães F.C., Velasco e Cruz A.A. *Acta Ophthalmol Scand.*, 1997, no. 3(75), pp. 290–294.
11. Sukhov V.Yu., Pospelov V.A. *Metodiki radionuklidnoy diagnostiki: metodicheskiye rekomendatsii. 2015 g.* (Methods of Radionuclide Diagnostics: Guidelines. 2015), St. Petersburg, 2016, 28 p. (in Russ.)
12. Pankin S.V., Surdo A.I., Pankin V.V., Zelenin A.V. *Abstract book of the 7th International congress on radiation physics, high current electronics and modification of materials*, Tomsk, 2020, pp. 484.
13. Vit V.V. *Stroyeniye zritel'noy sistemy cheloveka* (The Structure of The Human Visual System), Odessa, 2010, 664 p. (in Russ.)
14. Beck R.N. *Collimators for radioisotope scanning systems – medical radioisotope scanning*, Vienna, International Atomic Energy Agency, 1964, pp. 211–232.

### Data on authors

**Savva V. Pankin**

— Ural Federal University; M.N. Mikheev Institute of Metal Physics of the Ural Branch of the RAS, Laboratory of Intelligent Diagnostic Technologies; Junior Researcher; E-mail: savva.pankin@urfu.ru

**Alexander I. Surdo**

— Pr. Sci., Professor; Ural Federal University; M.N. Mikheev Institute of Metal Physics of the Ural Branch of the RAS, Laboratory of Intelligent Diagnostic Technologies и диагностики; главный научный сотрудник;  
E-mail: surdo@imp.uran.ru

**For citation:** Pankin S. V., Surdo A. I. Portable radiometric system and the possibilities of its application in dacryoscintigraphy. *Journal of Instrument Engineering*. 2021. Vol. 64, N 8. P. 680—687 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2021-64-8-680-687