

ОЦЕНКА НА ДОЗАТА НА ОЧНАТА ЛЕЩА В ИНТЕРВЕНЦИОНАЛНАТА КАРДИОЛОГИЯ

A. Загорска¹, В. Гелев², И. Желева², Н. Стоянов³, Д. Иванова^{4,5}

¹Клиника по нуклеарна медицина, Аджибадем Сити Клиник УМБАЛ Токуда – София

²Клиника по кардиология, Аджибадем Сити Клиник УМБАЛ Токуда – София

³Клиника по кардиология, УМБАЛ „Света Анна“ – София

⁴Военномедицинска академия, МБАЛ – София

⁵УМБАЛ „Проф. д-р Александър Чирков“ – София

EYE LENS DOSE ASSESSMENT IN INTERVENTIONAL CARDIOLOGY

A. Zagorska¹, V. Gelev², I. Jeleva², N. Stoyanov³, D. Ivanova^{4,5}

¹Nuclear Medicine Department, Acibadem City Clinic Tokuda Hospital – Sofia

²Cardiology Department, Acibadem City Clinic, Tokuda Hospital – Sofia

³Clinic of Cardiology, University Multiprofile Hospital for Active Treatment „Sveta Anna“ – Sofia

⁴Military Medical Academy, University Multiprofile Hospital for Active Treatment – Sofia

⁵University Hospital “Prof. Dr. Alexander Chirkov” – Sofia

Резюме.

Въведение. Медицинските специалисти, провеждащи интервенционални процедури под рентгенов контрол в интервенционалната кардиология, са изложени на риск от лъчевоиндуцирана катаракта при надвишаване на годишната граница на дозата на очната леща от 20 mSv. **Цел:** Целта на проучването е да се направи оценка на дозата на очната леща на медицински специалисти, работещи в три отделения по интервенционална кардиология, да се анализира зависимостта между лъчевото натоварване на пациента и дозата на очната леща на основния оператор, и да се изследва ефективността на защитните очила без странични оловни защиты. **Материал и методи:** Измерванията се проведоха в три отделения по инвазивна кардиология, като в изследванията се включиха четирима лекари и шест медицински сестри. Дозата на очната леща бе измервана с пасивни дозиметри за очна леща EYE-D™ (Radcard). **Резултати:** Годишната доза на очната леща за медицинските сестри варира от 1,6 mSv до 4,3 mSv. Оценената доза на очната леща за основния оператор е от 3,2 mSv до 31,4 mSv. Отслабването на изследваните защитни очила без странична защита е с фактор от 1 до 1,1. **Изводи:** Резултатите показват, че съществува риск за превишаване на годишната граница на дозата на очната леща от 20 mSv. Дозата на очната леща зависи от работното натоварване и клиничната сложност на провежданите процедури. Дозата на очната леща за медицинските сестри е няколко пъти по-ниска от граничната, което се обяснява с по-голямото разстояние от пациента и частичното екраниране от основния оператор. Защитните очила без странична защита не осигуряват необходимата защита на очната леща, в случай на странично облъчване.

Ключови думи:

лъчево натоварване на очна леща, интервенционална кардиология, защитни очила без странична защита

Адрес

д-р Анна Загорска, Клиника по нуклеарна медицина, „Аджибадем Сити Клиник УМБАЛ Токуда“, бул. "Никола Й.

за кореспонденция:

Вапцаров" № 51Б, тел. +359898254751, e-mail: zagorska.anna@gmail.com

Abstract.

Introduction: Medical professionals performing fluoroscopy guided interventional procedures in cardiology are exposed to a risk of radiation induced cataract, especially if the eye lens dose exceeds the annual dose limit of 20 mSv. **Aim:** The aim of the current study is to measure the eye lens exposure in three interventional cardiology departments, to analyze the relationship between patient dose and eye lens dose and to study the effectiveness of lead goggles without side protection. **Material and methods:** Measurements were performed in three departments with participation of 4 interventional cardiologists and 6 nurses. The exposure of the eye lens was measured with EYE-D™ (Radcard) passive dosimeters. **Results:** For nurses the annual eye lens dose varied from 1.6 mSv to 4.3 mSv. For the interventional cardiologists the results were between 3.2 mSv and 31.4 mSv. The dose reduction factor of the studied safety goggles without side protection is 1 and 1.1. **Conclusions:** There is a risk of exceeding the annual exposure limit of 20 mSv among interventional cardiologists.

The eye lens exposure depends on the workload and the clinical complexity of the procedures, as well as on the use of radiation protection devices. Due to the specifics of the procedures, the use of goggles with side protection is recommended. The eye lens dose for nurses is lower than the annual limit, which can be explained with the larger distance between the patient and the nurses and partial shielding by the main operator. Lead glasses without side shielding are not recommended because the exposure occurs from the side.

Key words: eye lens dose, interventional cardiology, protective glasses without side protection

Address for correspondence: Dr. Anna Zagorska, Nuclear Medicine Clinic, "Acibadem City Clinic UMBAL Tokuda", 51B, "Nikola Y. Vaptsarov" Blvd. phone: +359898254751, e-mail: zagorska.anna@gmail.com

ВЪВЕДЕНИЕ

Очната леща е една от най-лъчечувствителните тъкани в човешкото тяло. През 2011 г. Международната комисия по радиологична защита (МКРЗ), обяви намаляването на прага на погълнатата доза за възникване на радиационно индуцирана катаракта и предложи драстично намаляване на годишната граница на еквивалентната доза за очна леща за персонал, работещ с източници на йонизиращи лъчения (ИЙЛ) – от 150 mSv дотогава на 20 mSv [1]. Тази нова граница беше включена през 2012 г. и в българското законодателство [2]. Според МКРЗ работещите в интервенционалната рентгенология са с най-голяма вероятност за надвишаване на новата годишна граница за очна леща, особено при неизползването на защитни средства [3]. Границата на дозата от 20 mSv лесно може да бъде надвишена в случаите, в които не се използват оловно защитни очила [4]. Principi et al. оценяват годишната доза за очна леща за интервенционалните кардиолози от 8 mSv до 60 mSv годишно, при работно натоварване от 200 процедури годишно. За медицинските сестри оценената доза на очната леща варира от 2 mSv до 4 mSv годишно [5]. Установено е и значително нарастване на честотата на изменение на очната леща сред интервенционалните кардиолози и асистирания медицински персонал, като тази честота за интервенционалните кардиолози е поне два пъти по-голяма в сравнение с необлъчените лица [6, 7, 8, 9, 10].

Облъчването се дължи основно на разсеяното от пациента рентгеново лъчение [11]. Дозата на откритите части, включително и очната леща, за медицинските специалисти зависи от множество фактори – вида на процедурата, използваните експонационни параметри и радиографска техника [напрежение (kV), количество електричество (mAs), скорост на импулсна скопия, време за скопия, използвано увеличение на образа (лупа) и др.], телесна маса на пациента, позиция и наклон на рентгеновата тръба, а също и позицията на медицинския персонал спрямо ангиографската уредба и пациен-

INTRODUCTION

The eye lens is one of the most radiosensitive tissues in the human body. In 2011 The International Commission on Radiological Protection (ICRP), announced reduction of the absorbed dose threshold for the occurrence of radiation-induced cataracts and proposed a significant reduction of the annual equivalent dose limit for the eye lens for staff working with ionizing radiation sources (IRS), from 150 mSv to 20 mSv [1]. This new limit was also included in the Bulgarian legislation in 2012 [2]. According to the ICRP, medical staff working in interventional radiology are most likely to exceed the new annual limit for the eye lens, especially when they are not using a protective equipment [3]. The dose limit of 20 mSv can easily be exceeded in cases where lead protective glasses are not used [4]. Principi et al. estimated the annual eye lens dose for interventional cardiologists from 8 mSv to 60 mSv per year, with a workload of 200 procedures per year. For nurses, the estimated eye lens dose ranged from 2 mSv to 4 mSv per year [5]. There has also been a significant increase in the incidence of eye lens alteration among interventional cardiologists and assisting staff, and this incidence for interventional cardiologists is at least twice as high as for non-irradiated ones [6, 7, 8, 9, 10].

Occupational exposure is mainly formed by the X-ray radiation scattered by the patient [11]. The dose to the exposed unprotected body parts, including the eye lens for medical professionals, depends on multiple factors, such as the type of the procedure, exposure parameters and radiographic technique used (voltage (kV), tube current-exposure time product (mAs), pulse rate, fluoroscopy time, image magnification (magnifying lens) used, etc., patient weight, position and tilt of the X-ray tube, and also the position of the medical staff relative to the angiography equipment and the patient, as well as the use of radiation protection tools [12, 13, 14]. The combination of high

та, както и употребата на лъчезащитните предпазни средства [12, 13, 14]. Комбинацията от големи мощности на дозата и високо работно натоварване води до значително облъчване на откритите части на тялото на медицинските специалисти [15].

Отслабването на разсеяното лъчение, достигащо до откритите части на тялото по време на интервенционални процедури, се постига с различни защитни средства: лъчезащитни престилки и яки, екрани, завеси, очила, различни по вид шлемове, мобилни екрани и др., всяко от които със съответстващ оловен еквивалент. От тях за защита на очната леща служат очилата, екраните и шлемовете. Факторът на ефективност на тези средства зависи от тяхната конструкция и материал, като варира от 1,3 до 33 пъти [16, 17, 18, 19, 20]. Допълнителни фактори, влияещи на ефективността им са: разстоянието до източника, позицията на медицинския специалист спрямо пациента, колимирането на снопа, разстоянието от фокуса на рентгеновата тръба до пациента, височината на оператора (определяща височината на масата), разстоянието от преобразувателя на образа до пациента; използваните работни характеристики на рентгеновия апарат и др. [21, 22].

При фронтално облъчване, лъчезащитните очила осигуряват намаляване на облъчването от 5 до 10 пъти. Когато облъчването е странично, както в интервенционалната кардиология, този фактор намалява и обичайно е между 3 и 6 пъти, в случай на защитни очила, конструирани със странична защита. Защитните очила със странична защита осигуряват по-добра протекция, тъй като пролукиите между рамките и главата обикновено е по-малка [23]. Съществуват и данни, че защитните средства могат да създадат фалшиво усещане за защита в случаите, в които лъчението се разпространява под ъгъл и реалната им ефективност е малка [17].

Представените по-горе литературни данни, както и липсата на измервания на дозите на очната леща на медицинските специалисти в България, мотивираха провеждането на представеното проучване.

Цел

Целите на настоящото проучване са:

1. Измерване на дозата на очната леща на персонала в три отделения по интервенционална кардиология и оценка на възможността за превишаване на годишната граница на дозата от 20 mSv за очна леща;
2. Търсене на зависимост между дозата на пациента и дозата на очната леща на основния оператор;
3. Изследване на ефективността на защитни очила без странични оловни защиты, използвани рутинно в клиничната практика в две от отделенията.

dose rates and high workloads results in significant radiation exposure to the unprotected body parts of medical professionals [15].

Attenuation of scattered radiation, reaching exposed parts of the body, during interventional procedures is achieved by various protective means: radiation shielding aprons and collars, screens, curtains, glasses, visors of various types, mobile screens, etc., each with a corresponding lead equivalent. Glasses, screens and helmets serve to protect the eye lens. The effectiveness factor of these protective tools depends on their construction and material, ranging from 1.3 to 33 times [16, 17, 18, 19, 20]. Additional factors concerning their effectiveness are: the distance to the X-ray source, the position of the medical professional relative to the patient, the beam collimation, the distance from the focus of the X-ray tube to the patient, the height of the operator (determining the height of the table), the distance from the image detector to the patient, the exposure factors of the X-ray unit used, etc. [21, 22].

For frontal irradiation, radiation glasses provide a 5 to 10-fold reduction in the radiation exposure. When the radiation exposure is lateral, as in the interventional cardiology, this factor decreases and is typically between 3 and 6 times, in the case of glasses designed with lateral protection. Protective eyewear with lateral protection provides better protection because the gap between the frame and the head is usually smaller [23]. There is also evidence that protective devices can create a false sense of protection, in cases of angular distribution of radiation and their actual effectiveness is small [17].

The literature data presented above, as well as the lack of eye lens dose measurements of medical professionals in Bulgaria, motivated the present study.

Аим

The aim of the present study is:

- 1) To measure the eye lens dose to staff in three interventional cardiology departments and to investigate the possibility of exceeding the annual eye lens dose limit of 20 mSv;
- 2) Search for a correlation between patient exposure and primary operator eye lens dose;
- 3) Investigating the effectiveness of protective eye glasses without side lead shields, routinely used in clinical practice in two of the departments.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИ

Измерванията се проведеха в три отделения по инвазивна кардиология, като в изследванията се включиха 4-ма интервенционални кардиолози и 6 медицински сестри. Дозата на очната леща бе измервана с пасивни дозиметри за очна леща EYE-D™ (Radcard) на базата на термолуминисцентни детектори, калибрирани във величината индивидуален дозов еквивалент на дълбочина 3 mm, $H_p(3)$, mSv и проследими до Вторична стандартна дозиметрична лаборатория – SSDL, София, България. Всяко измерване е представено с оценената разширена неопределеност на измерването, която е стандартната неопределеност на измерването, умножена с фактор на покриване $k = 2$, който за нормално разпределение отговаря на доверителна вероятност от 95%.

Дозиметърът бе поставян върху операционната шапка, от страната на окото, разположено в по-голяма близост до източника на рентгеново лъчение, най-често това е лявото око. Дозиметърът дава оценка за облъчването на незащитеното око, заради поставянето му извън страничната защита на оловните очила и максимално близо до окото (фиг. 1). Измерванията бяха разделени в отчетни периоди с продължителност от около 1 месец, като са носени по време на всички процедури, извършвани през този месец в отделението. Отчитането им бе извършвано в края на всеки период. Оценката за очакваното годишно натоварване на очната леща е направена въз основа на измерените дози през периодите на измерване, като изчисленото средно натоварване за един месец е умножено по работните месеци и коригирано с годишния отпуск в размер на 30 работни дни. При изчисляването е отчетена и

MATERIAL AND METHODS

Measurements were performed in three interventional cardiology departments, and 4 interventional cardiologists and 6 nurses participated in the study. Eye lens dose was measured with EYE-D™ (Radcard), passive eye lens dosimeters based on thermoluminescent detectors calibrated in terms of personal dose equivalent in 3 mm depth in soft tissue, $H_p(3)$, mSv and traceable to the Secondary Standard Dosimetry Laboratory, Sofia, Bulgaria (SSDL). Each measurement is represented by the estimated expanded measurement uncertainty, which is the standard measurement uncertainty multiplied by a coverage factor of $k = 2$, which for a normal distribution corresponds to a 95% confidence interval.

The dosimeter was placed on the operating cap, on the side of the eye located in closer proximity to the X-ray source, most commonly the left eye. The dosimeter provides an estimate of the exposure to the unprotected eye because of its placement outside the side protection of the lead glasses and as close to the eye as possible (Figure 1). The measurements were divided into reporting periods of approximately one month duration, and were worn during all the procedures performed that period in the department. They were reported at the end of each period. An estimate of the expected annual exposure of the eye lens was made based on the doses measured during the measurement periods by multiplying the calculated average exposure for one month by the working months and adjusting for the annual leave of 30 working days. The



Фиг. 1. Термолуминисцентен дозиметър тип EYE-D™ [24] и начин на закрепване

Fig. 1. Thermoluminescent dosimeter type EYE-D™ [24] and method of its attachment

продължителността на отчетните периоди и използването на годишен отпуск по време на извършване на изследванията.

Всички екипи рутинно използват защитни екрани, престилки и яки. Измерванията за оценка на отслабването на защитните очила без странична защита са извършени с допълнителен дозиметър, поставен от вътрешната страна на рамката на защитните очила. Отслабването на лъчението от очилата е оценено за по един кардиолог в двата различни екипа включени в проучването. На фиг. 2 е представен и начинът на закрепване на дозиметъра. За периода на измерванията за оценка на отслабването на защитните очила е носен и дозиметър за оценка на дозата на незащитеното око, както е показано на фиг. 1.

За всяка една от извършените кардиологични процедури през периода на измерването бяха регистрирани стойностите на времето на скопия (BC), произведение керма-площ (КАП), по-позната в практиката с наименованието си произведение доза-площ (ДАП) и кумулативна доза (КД) на пациентите, като сума от КАП на всички извършени процедури от дадено лице от медицинския персонал за съответния отчетен период. Данните са събирани проспективно. Резултатите са обработени и анализирани посредством дескриптивни статистически методи. В таблица 1 са представени вида и броя на ангиографските уредби и периода на изследването във всяко отделение.

calculation also took into account the duration of the reporting periods and the use of annual leave during the time of the survey.

All teams routinely use protective screens, aprons and collars. Measurements of the attenuation of safety glasses without side shielding were made with an additional dosimeter placed on the inside of the frame of the safety glasses. Radiation attenuation from the glasses was assessed for one cardiologist in each of the two different teams involved in the study. Figure 2 also shows how the dosimeter was attached. A dosimeter was also worn for the period of the measurements to assess the attenuation of the protective glasses and to assess the dose to the unprotected eye, as shown in Fig. 1.

For each of the cardiac procedures performed, during the measurement period, the values of the fluoroscopy time (FT), the air kerma-area product (KAP), better known as dose-area product (DAP), and the cumulative dose (CD) of the patients were recorded as the sum of the KAP of all procedures performed by a given person from the medical staff for the respective reporting period. Data were collected prospectively. Results were processed and analyzed using descriptive statistical methods. Table 1 shows the type and number of angiography units and the period of the survey in each department.



Фиг. 2. Начин на закрепване на дозиметър за оценка на ефективността на защитни очила: а) изследвани защитни очила в Отделение 1; б) изследвани защитни очила в Отделение 2

Fig. 2. Method of attaching a dosimeter to evaluate the effectiveness of protective glasses. a) protective glasses tested in Department 1 b) protective glasses tested in Department 2

Таблица 1. Брой и вид ангиографски уредби в отделенията и продължителност на изследването

Table 1. Number and type of angiography units in the departments and the survey period

Отделение / Department	Ангиографски уредби / Angiography unit	Период на изследване / Survey period
Отделение 1 Department 1	Innova 3100 (GE Healthcare) и / and Innova 520 (GE Healthcare)	от / from 08.02.2016 г. до / to 12.05.2016 г. / year
Отделение 2 Department 2	Две уредби Artis zee (Siemens), разположени в две зали (А и Б) Two units Artis zee (Siemens), in two rooms (A and B)	от / from 10.02.2016 г. до / to 16.06.2016 г. / year
Отделение 3 Department 3	Allura Xper FD 10 (Philips) и / and Innova 2100 (GE Healthcare)	от / from 08.02.2016 г. до / to 10.05.2016 г. / year

РЕЗУЛТАТИ

Измерване на дозата на очната леща

В таблици 2 и 3 е представено лъчевото натоварване на очната леща през различните периоди на отчитане и сумарната доза за целия период, съответно за медицинските сестри (табл. 2) и кардиолозите (табл. 3), участващи в проучването. Последната колона представя оценената годишна еквивалентна доза за очната леща.

За медицинските сестри (Отделение 2), участвали само с един период на измерване не е направена оценка за годишната еквивалентна доза на очната леща, поради краткия отчетен период, но данните са представени за пълнота.

RESULTS

Eye lens dose measurement

Table 2 and Table 3 represent the eye lens radiation dose during different reporting periods and the cumulative dose over the entire period for the nurses (Table 2) and cardiologists (Table 3) participating in the study, respectively. The last column presents the estimated annual equivalent dose to the eye lens.

For nurses (Department 2) who participated with only one measurement period, an estimate of the annual equivalent eye lens dose was not performed due to the short reporting period, but the data are included and presented for completeness.

Таблица 2. Резултати от измерването на индивидуални еквивалентни дози за очна леща за съответните периоди на измерване за медицински сестри и оценена годишна еквивалентна доза. Резултатите от измерванията са докладвани с разширената неопределеност на измерването, която е стандартната неопределеност на измерването, умножена с фактор на покриване $k = 2$, който за нормално разпределение отговаря на доверителна вероятност от 95%

Table 2. Results of the measurement of individual equivalent doses for the eye lens for the respective measurement periods for nurses and estimated annual equivalent dose. Measurement results are reported with the expanded measurement uncertainty, which is the standard measurement uncertainty multiplied by a coverage factor of $k = 2$, which for a normal distribution corresponds to a 95% confidence level

	$H_p(3)$, mSv I период / I period	$H_p(3)$, mSv II период / II period	$H_p(3)$, mSv III период / III period	Сума / Total (mSv)	Оценена годишна еквивалентна доза Estimated annual equivalent dose (mSv)
Отделение 1 Department 1	$0,52 \pm 0,15$	$0,32 \pm 0,13$	$0,71 \pm 0,24$	1,55	4,07
	*	$0,44 \pm 0,09$	$0,83 \pm 0,21$	1,28	4,46
Отделение 2 Department 2	$0,23 \pm 0,07$	$0,10 \pm 0,03$	$< 0,10^{**}$	0,33	1,74
	$0,43 \pm 0,12$	$< 0,10^{**}$	$< 0,10^{**}$	–	–
	$0,19 \pm 0,06$	$< 0,10^{**}$	$< 0,10^{**}$	–	–
Отделение 3 Department 3	$0,11 \pm 0,03$	$0,15 \pm 0,05$	$0,19 \pm 0,06$	0,45	1,60

* Изгубен детектор / Lost detector; ** Дозиметърът не е бил носен през съответния период / Dosimeter was not worn during this period

Таблица 3. Резултати от измерването на индивидуални еквивалентни дози за очна леща за съответните периоди на измерване за кардиолозите и оценена годишна еквивалентна доза. Резултатите от измерванията са докладвани с разширената неопределеност на измерването, която е стандартната неопределеност на измерването, умножена с фактор на покриване $k = 2$, който за нормално разпределение отговаря на доверителна вероятност от 95%

Table 3. Results of the measurement of individual equivalent doses per eye lens for the respective measurement periods for cardiologists and estimated annual equivalent dose. Measurement results are reported with the expanded measurement uncertainty, which is the standard measurement uncertainty multiplied by a coverage factor of $k = 2$, which for a normal distribution corresponds to a 95% confidence interval

	Медицински специалист Medical Specialist	$H_p(3)$, mSv I период I period	$H_p(3)$, mSv II период II period	$H_p(3)$, mSv III период III period	$H_p(3)$, mSv IV период IV period	Сума Total (mSv)	Оценена годишна еквивалентна доза Estimated annual equivalent dose (mSv)
Отделение 1 Department 1	Кардиолог 1 / Cardiologist 1	$2,09 \pm 0,60$	$3,04 \pm 0,88$	$2,21 \pm 0,64$	–	7,34	19,27
	Кардиолог 2 / Cardiologist 2	$3,78 \pm 1,09$	$4,33 \pm 1,25$	$3,85 \pm 1,11$	–	11,96	31,39
Отделение 2 Department 2	Кардиолог 1 / Cardiologist 1	$0,99 \pm 0,29$	$0,99 \pm 0,29$	$1,62 \pm 0,47$	–	3,59	15,08
	Кардиолог 2 / Cardiologist 2	$0,25 \pm 0,07$	$0,35 \pm 0,10$	$0,39 \pm 0,11$	$0,30 \pm 0,09$	1,29	3,22

Зависимост между кумулативната (сумарната) КАП за пациентите и дозата на очната леща на основния оператор

Потърсена бе зависимостта между кумулативната КАП за извършените процедури и измереното дозово натоварване на очната леща за всеки оператор. Фигура 3 представя зависимостта между измерената доза на очната леща в $H_p(3)$, mSv, за кардиолозите, провеждащи процедурите в двете отделения, и сумарната доза на пациентите в КАП за съответните периоди на измерване.

За кардиолозите от Отделение 1 се наблюдава разлика от приблизително 2 пъти в измерените дози на очната леща. За Отделение 2 тези разлики между медицинските специалисти са от 3 до 4 пъти (табл. 3), в зависимост от разглеждания период на измерване.

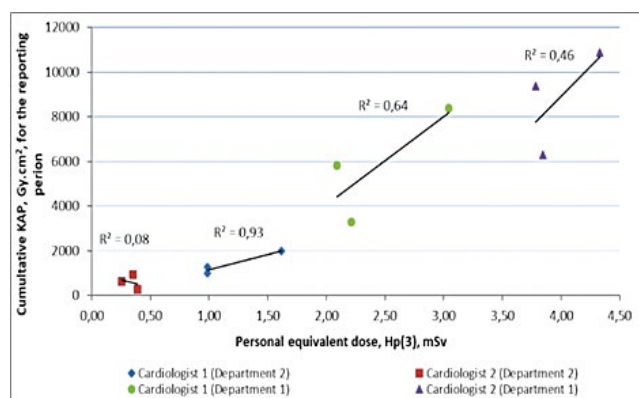
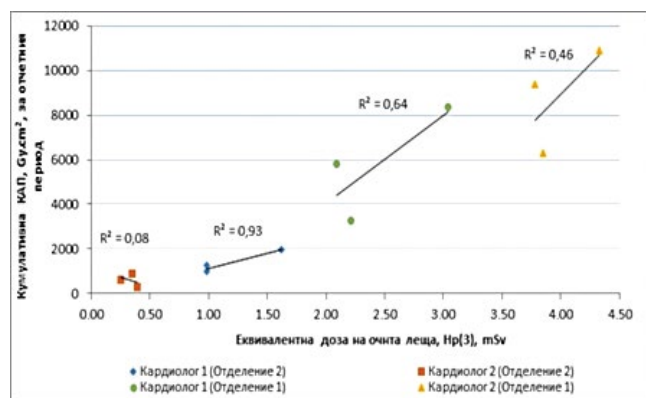
За установяване на причините за голямата разлика в измерените дози бе извършено изследване на работното им натоварване по отношение на брой пациенти, сумарна КАП и съотношение на извършени диагностични и терапевтични процедури. Обобщените данни, по отчетни периоди за КАП, КД и ВС, работното натоварване и употребата на лъчезащитни екрани, са представени в табл. 4.

Relationship between cumulative (total) KAP for patients and the dose of the primary operator's eye lens

The relationship between the cumulative KAP for the procedures performed and the measured eye lens dose for each operator was investigated. Figure 3 presents the dependence between the measured eye lens dose in $H_p(3)$, mSv, for the cardiologists performing the procedures in the two departments and the cumulative patient dose in KAP for the respective measurement periods.

For the cardiologists from Department 1, there was approximately two times difference in the measured doses of the eye lens. For Department 2, the differences in the measured doses of the eye lens ranged from three to four times (Table 3), depending on the measurement period.

To determine the reasons for the large difference in the measured doses, their workload was examined in terms of number of patients, cumulative KAP, and proportion of diagnostic and therapeutic procedures performed. The summary data, for a reporting period, for KAP, KD and FT, workload and use of radiation shielding are presented in Table 4.



Фиг. 3. Зависимост на оценената доза на очната леща $H_p(3)$, mSv от кумулативната КАП, $Gy.cm^2$ за всеки един от отчетните периоди. На фигурата е представен коефициента на детерминация за всеки кардиолог поотделно

Fig. 3. Dependence of estimated eye lens dose $H_p(3)$, mSv on cumulative KAP, $Gy.cm^2$ for each of the reporting periods. The figure also presents the coefficient of determination for each cardiologist separately

Таблица 4. Данни за вид и брой извършени процедури и употреба на защитен екран за участващите в изследването кардиолози

Table 4. Data, for a investigated period, for KAP, KD and FT, workload and use of radiation shielding

	Отделение 1 / Department 1		Отделение 2 / Department 2	
	Кардиолог 1 Cardiologist 1	Кардиолог 2 Cardiologist 2	Кардиолог 1 Cardiologist 1	Кардиолог 2 Cardiologist 2
Оценена годишна доза на очната леща, / Estimated annual eye lens dose, $H_p(3)$, mSv	19,7	31,4	15,1	3,2
Брой процедури за изследвания период / Number of procedures for the studied period	135	216	87	84
Кумулативна КАП, $Gy.cm^2$, за изследвания период / Cumulative KAP, $Gy.cm^2$, за for the studied period	17468	26527	4222	1803
Терапевтични процедури / Therapeutic procedures (PCI)	53 %	48 %	49 %	23 %
Употреба на защитен екран / Use of a protective screen	да	да	да	да

Изследване на ефективността на защитни очила без странични оловни защиты

В Отделение 1 и Отделение 2 разполагат с оловни защитни очила без странична защита (фигура 2a за Отделение 1, фигура 2b за Отделение 2). В таблица 5 са показани измерените стойности над и под защитните очила за по един от отчетните периоди.

Факторът на отслабване на достигналото до изследваните защитни очила йонизиращо лъчение варира от 1 до 1,1.

Обсъждане

Дозата на очната леща за участниците в изследването медицински сестри е от 4 до 12 пъти по-ниска от годишната граница на дозата от 20 mSv. Това се обяснява с по-голямото разстояние от пациента и частичното екраниране от основния оператор. Лъчевото натоварване на медицинските сестри във второто отделение е относително по-ниско от това в първото, което корелира добре със съответните дози на кардиолозите.

Оценената годишна еквивалентна доза на очната леща за кардиолозите показва, че има лекари, с вероятност за надвишаване на годишната граница на дозата от 20 mSv. Анализът на работното натоварване на кардиолозите в Отделение 1 показва относително равномерно разпределено работно натоварване по отношение на терапевтичните и диагностичните процедури, подкрепено и от съотношението на работно натоварване към показанията на дозиметрите за оценка на дозата на очната леща. Анализът на работата на двамата кардиолози във второто отделение показва, че за целия период на изследването двамата са участвали в приблизително еднакъв брой процедури, съответно 87 за кардиолог 1 и 84 за кардиолог 2, но дозите на пациентите за процедурите, извършени от първия кардиолог, са няколко пъти по-високи, например за КАП – около 2 до 7 пъти. В същото време 49% от извършените от кардиолог 1 процедури са терапевтични, а за кардиолог 2 този процент е 23%. Друг фактор е, че кардиолог 1 извършва и лъченатоварващата процедура имплантация на системи за ресинхронизираща

Investigation of the effectiveness of safety glasses without side lead shields

Lead glasses without side protection (Figure 2a for Department 1, Figure 2b for Department 2) are available. Table 5 shows the measured values above and below the safety glasses for one of the reporting periods.

The attenuation factor of the ionizing radiation reaching the tested glasses ranged from 1 to 1.1.

DISCUSSION

The eye lens dose to the nurses involved in the study was between 4 to 12 fold lower than the annual dose limit of 20 mSv. This can be explained with the greater distance from the patient and the partial shielding by the primary operator. The radiation exposure of the nurses in the second department was relatively lower than that in the first department, which correlated well with the respective doses of the cardiologists.

The estimated annual equivalent eye lens dose for the cardiologists indicates that there are some of them with a probability of exceeding the annual dose limit of 20 mSv. The analysis of the workload of the cardiologists in Department 1 shows a relatively evenly distributed workload in terms of therapeutic and diagnostic procedures, supported by the ratio of workload to dosimeter readings for eye lens dose assessment. The analysis of the work of the two cardiologists in the second department showed that, over the entire study period, both of them participated in approximately the same number of procedures, 87 for cardiologist 1 and 84 for cardiologist 2, respectively, but the patient doses for the procedures performed by the first cardiologist were several times higher, for example, for KAP, about 2 to 7 times. At the same time, 49% of the procedures performed by cardiologist 1 were therapeutic, and for cardiologist 2 this percentage was 23%. Another factor is that cardiologist 1 also performs the high-dose procedure of implantation of

Таблица 5. Оценени индивидуални еквивалентни дози за очна леща под и извън оловнозащитните очила
Table 5. Measured values above and below the safety glasses for one of the reporting periods

	Медицински специалист Medical specialist	$H_p(3)$, mSv над очила Above the glasses	$H_p(3)$, под очила Below the glasses	Използван тип очила Type of glasses used
Отделение 1 Department 1	Кардиолог 2 / Cardiologist 2	3,85 ± 1,11	3,40 ± 0,98	Без странична защита, фиг. 2a Without lateral protection, Fig. 2a
Отделение 2 Department 2	Кардиолог 2 / Cardiologist 2	0,30 ± 0,09	0,29 ± 0,09	Без странична защита, фиг. 2b Without lateral protection, Fig. 2b

терапия (CRT), при която е позициониран в голяма близост до пациента, което не позволява употреба на защитен екран.

Разглеждайки зависимостта между кумулативната КАП и дозовото натоварване на очната леща на кардиолозите и в двете отделения (фиг. 3), се вижда известно нарастване на измерените дози за очната леща с нарастване на кумулативната КАП. Наблюдаваните разлики в корелацията между работното натоварване и дозата на очната леща се обясняват с малкия брой периоди на измерване и характера на извършваните изследвания, които изискват честа промяна на използваните проекции. Това променя характера и геометрията на разсеяното лъчение, достигащо до оператора. Според Koukorava и съавт. отношението между КАП и дозата на очната леща може да се променя до 5 пъти в зависимост от използваната проекция [17]. Поради спецификата на провежданите процедури в кардиологията, лявото око на оператора е облъчвано най-вече странично, затова се изисква използването на очила със странична защита [23, 25]. В проучването на Martin и съавт. измерванията показват, че защитни очила със странична защита могат да осигурят фактор на отслабване на дозата на очната леща от 3 до 5 пъти при облъчване под ъгъл [26]. Резултатите от това проучване показват, че оловнозащитни очила без странична защита почти не осигуряват защита на лявото око на оператора. Това се обяснява с конструкцията на очилата – съществуващите пролуки и/или части от очилата, които не разполагат с оловна защита (например пластмасови рамки) и страничната посока на облъчване на очите и главата на оператора като цяло, характерна за извършваните процедури в интервенционалната рентгенология.

ОГРАНИЧЕНИЯ НА ПРОУЧВАНЕТО

Оценката на защитата, която осигуряват оловнозащитните очила се измерва трудно, поради спецификата на работата и факта, че дозиметрите не са с достатъчно малки размери, така че да бъдат поставяни под оловното стъкло. В настоящото проучване позицията на дозиметъра е избрана така, че той да бъде в максимална близост до окото, което се облъчва в по-голяма степен и същевременно да не пречи на работата на медицинските специалисти.

Изводи

Резултатите от измерванията и оценката на дозите на очната леща на основния оператор показват, че има риск за превишаване на годишната гра-

cardiac resynchronization therapy devices, in which he is positioned very close to the patient, which does not allow the use of a protective screen.

The analyses of the results for the relationship between cumulative KAP and dose to the eye lens of the cardiologists in both departments (Figure 3), shows some increase in measured doses to the eye lens with increasing cumulative KAP. The observed differences in the correlation between workload and eye lens dose are explained by the short measurement periods and the type of the examinations performed, which require frequent changes in the projections used. This changes the characteristics and the geometry of the scattered radiation reaching the operator. According to Koukorava et al, the relationship between the KAP and the dose to the eye lens can differ by up to a factor of 5 depending on the projection used [17]. Due to the specificity of the cardiology procedures performed, the operator's left eye is mostly irradiated laterally, therefore the use of glasses with lateral protection is required [23, 25]. In the study by Martin et al, measurements showed that protective glasses with lateral protection can provide an eye lens dose attenuation factor of 3 to 5 times when angular irradiation occurs [26]. The results of this study indicate that lead-protective glasses without side protection provide almost no protection to the operator's left eye. This is explained by the construction of the glasses – existing gaps and/or parts of the glasses without lead protection (e.g. plastic frames) and the lateral direction of irradiation of the operator's eyes and head in general, typical for the procedures performed in interventional radiology.

LIMITATIONS OF THE STUDY

The assessment of the protection provided by lead-protective glasses is difficult for measurements, because of the specifics of the work and the fact that the dosimeters are not small enough to be placed under the lead glasses. In the present study, the position of the dosimeter was chosen to be as close as possible to the eye, which would be irradiated the most and at the same time not interfere with the work of the medical specialists.

CONCLUSIONS

The results of the performed measurements and the evaluation of the doses to the eye lens of the main operator show that there is a risk of exceeding

нища на дозата на очната леща от 20 mSv. Лъчевото натоварване на очната леща зависи от работното натоварване и клиничната сложност на провежданите процедури, както и от използването на лъчезащитни средства. Използването на защитни очила без странична защита не осигурява необходимото отслабване на рентгеновото лъчение, затова е препоръчително използването на очила със странична защита, в допълнение към използването на лъчезащитен екран с таванно окачване. Лъчевото натоварване на очната леща за медицинските сестри е няколко пъти по-ниско от годишната граница на дозата, което се обяснява с по-голямото им разстояние от пациента и частичното екраниране, осигурявано от основния оператор.

Не е деклариран конфликт на интереси

Библиография / References

1. International Commission on Radiological Protection. ICRP ref 4825-3093-1464. Statement on Tissue Reactions. Approved by the Commission on April 21. 2011.
2. МЗ, Наредба за радиационна защита. Обн. ДВ. бр.16 от 20 февруари 2018 г., изм. и доп. ДВ. бр. 110 от 29 декември 2020 г.
3. International commission on radiological protection. Radiological protection in cardiology, ICRP Publication 120, Ann. ICRP, 42(1), 2013, Elsevier.
4. Haga Y, Chida K, Kaga Y et al. Occupational eye dose in interventional cardiology procedures. Sci Rep. 2017, 7, 569. doi:10.1038/s41598-017-00556-3.
5. Principi S, Delgado Soler C, Ginjaume M et al. Eye lens dose in interventional cardiology. Radiat Prot Dosimetry. 2015,165 (1-4) 289-293. doi: 10.1093/rpd/ncv051.
6. Ainsbury EA, Bouffler SD, Dörr W et al. Radiation cataractogenesis: a review of recent studies. Radiat Res. 2009, 172 (1), 1-9. doi: 10.1667/RR1688.1.
7. Ciraj-Bjelac O, Rehani MM, Sim KH et al. Risk for radiation induced cataract for staff in interventional cardiology: Is there reason for concern? Catheter Cardiovasc Interv. 2010, 76 (6), 826-834. Doi: 10.1002/ccd.22670.
8. Jacob S, Donadille L, Bar O et al. Risk of radiation-induced cataract for interventional cardiologists: results of the O'CLOC study, IRPA 2012. May 15, 2012 – Glasgow.
9. Milacic S. Risk of occupational radiation-induced cataract in medical workers. Med Lav. 2009, 100, 178–186. PMID: 19601402.
10. Vano E, Kleiman NJ, Duran A et al. Radiation cataract risk in interventional cardiology personnel. Radiation research. 2010, 174(4), 490-495. doi: 10.1667/RR2207.1.
11. Miller DL, Vaňo E, Barta G et al. Occupational radiation protection in interventional radiology: a joint guideline of the Cardiovascular and Interventional. Cardiovasc Intervent Radiol. 2010 33(2), 230-239. doi: 10.1007/s00270-009-9756-7.
12. <https://www.iaea.org/resources/rpop/health-professionals/interventional-procedures/interventional-cardiology/staff> (last access on 30.08.2022).
13. Koukorava C, Carinou E, Ferrari E et al. Study of the parameters affecting operator doses in interventional radiology using Monte Carlo simulations, Radiation Measurements, 2011, 46 (11), 1216-1222, doi: 10.1016/j.radmeas.2011.06.057.
14. Bhar M, Mora S, Kadri O et al. Monte Carlo study of patient and medical staff radiation exposures during interventional

the annual limit of the eye lens dose of 20 mSv. The radiation exposure of the eye lens depends on the workload and the clinical complexity of the procedures performed, as well as on the use of radiation-shielding tools. The use of protective glasses without side shielding does not provide the necessary X-ray attenuation, so the use of glasses with side shielding is recommended, in addition to the use of a ceiling suspended radiation shielding. The radiation exposure of the nurses' eye lens is several times lower than the annual dose limit, which is explained by their greater distance from the patient and the partial shielding provided by the primary operator.

No conflict of interest was declared

- cardiology. Physica Medica, 2021, 82, 200-210. doi: 10.1016/j.ejmp.2021.01.065.
15. Covens P, Berus D, Buls N et al. Personal Dose Monitoring In Hospitals: Global Assessment, Critical Applications And Future Needs. Radiat Prot Dosimetry. 2007, 124 (3), 250-259. doi: 10.1093/rpd/ncm418.
16. Galster M, Guhl C, Uder M et al. Exposition of the operator's eye lens and efficacy of radiation shielding in fluoroscopically guided interventions. RöFo, 2013, 185, 474-481. doi: 10.1055/s-0032-1330728.
17. Koukorava C, Farah J, Struelens L et al. Efficiency of radiation protection equipment in interventional radiology: a systematic Monte Carlo study of eye lens and whole body doses J. Radiol. Prot. 2014, 34, 509-528. doi: 10.1088/0952-4746/34/3/509.
18. McVey S, Sandison A, Sutton DG. An assessment of lead eyewear in interventional radiology J. Radiol. Prot. 2013, 33, 647-659. doi: 10.1088/0952-4746/33/3/647.
19. Van Rooijen B, de Haan M, Das M et al. Efficacy of radiation safety glasses in interventional radiology Cardiovasc. Intervent. Radiol. 2014, 37, 1149-1155. doi: 10.1007/s00270-013-0766-0.
20. Vano E, Gonzalez L, Fernández M et al. Eye lens exposure to radiation in interventional suites: caution is warranted Radiology. 2008, 248, 945-953. doi: 10.1148/radiol.2482071800.
21. Carinou E, Ferrari P, Ciraj Bjelac O. Eye lens monitoring for interventional radiology personnel: dosimeters, calibration and practical aspects of Hp(3) monitoring. A 2015 review, J. Radiol. Prot. 2015, 35, 17-34. doi: 10.1088/0952-4746/35/3/R17.
22. International Radiation Protection Association. IRPA guideline protocol for eye dose monitoring and eye protection of workers. 2017.
23. López PO, Dauer LT, Loose R et al. ICRP Publication 139: Occupational Radiological Protection in Interventional Procedures. Ann ICRP. 2018 Mar;47(2):1-118. doi: 10.1177/0146645317750356. Erratum in: Ann ICRP. 2019 Sep;48(1):99. Erratum in: Ann ICRP. 2019 Sep;48(1):98. PMID: 29532669.
24. <http://www.radcard.pl/Ulotka.pdf> (last access on 30.08.2022).
25. МЗ, Наредба 13 от 16.12.2016 г. за осигуряване на радиационната защита при работа с рентгенови уредби за медицински цели. Обн. ДВ. бр.103 от 27 декември 2016 г.
26. Martin CJ, Magee JS, Sandblom V et al. Eye dosimetry and protective eyewear for interventional clinicians. Radiat Prot Dosimetry. 2015 Jul;165(1-4):284-8. doi: 10.1093/rpd/ncv050. Epub 2015 Apr 5. PMID: 25848118.