

# КОНТАКТІЛІ СӘУЛЕЛІК ТЕРАПИЯДА ҚОЛДАНЫЛАТЫН СӘУЛЕЛЕНУ КӨЗДЕРІНЕ КАЛИБРОВКА ЖАСАУ БОЙЫНША ПРАКТИКАЛЫҚ НҰСҚАУЛЫҚ

А.Т. ТУЛЕГЕНОВА<sup>1,2</sup>, Д.А. МУСАХАНОВ<sup>1,3</sup>, Н.М. ТУЛБАЕВА<sup>1</sup>, М.С. ӨМІРЗАҚ<sup>1</sup>,  
О.Қ. СЕЙТОВ<sup>1</sup>, К.Д. ДАТБАЕВ<sup>1</sup>, Е.И. ИШКИНИН<sup>4</sup>

<sup>1</sup>«Қазақ онкология және радиология ғылыми-зерттеу институты» АҚ, Алматы, Қазақстан Республикасы;

<sup>2</sup>«Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті» КеАҚ, Алматы, Қазақстан Республикасы;

<sup>3</sup>«Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан Республикасы;

<sup>4</sup>Алматы онкологиялық орталығы, Алматы, Қазақстан Республикасы

## АНДАТПА

**Өзектілігі:** Жұмыста брахитерапиядағы иондаушы сәулелену көзін калибрлеу әдісінің екі кемшілігі көрсетілген. Бірінші әдіс-дұрыс пішінді камераның көмегімен радиациялық белсенділікті өлшеу, екінші әдіс-иондау камерасының көмегімен ауа кермикасын өлшеу. Сонымен қатар, радиохромдық шкаланы қолдану және онымен өлшеу әдісі көрсетілген. Брахитерапияда иондаушы сәулелену көзін калибрлеудің жоғарыда аталған әдістерін жүргізудің өзектілігі емдеудің жоғары дәлдігі мен сенімділігін қамтамасыз ету қажеттілігімен түсіндіріледі. Калибрлеудің барлық әдістерін қолдану брахитерапияның сапасы мен қауіпсіздігін бақылауда көп деңгейлі тәсілді ұсынады. Иондау камерасын, ауа кермасының қуатын және радиохромды пленканы өлшеуді бөлісу дозиметрияның жоғары дәлдігін қамтамасыз етеді және пациенттерді сәтті емдеу және жанама әсерлерді азайту үшін маңызды.

**Зерттеудің мақсаты** – бірінші ретті калибрлеу әдістерін және оларды медициналық мекемелерде қолдану мүмкіндіктерін талдау.

**Әдістері:** Өндірушіден алынған сәулелену көзі туралы ақпарат мақалада ұсынылған әдіспен өлшеу арқылы салыстырылды. Сәулелену фантомдағы дозаның бастапқы таралуын бағалау үшін радиохромды пленкамен жүргізілді. Бұл ғылыми зерттеу Ресей ұлттық денсаулық сақтау институтының «Жанаспалы сәулелік терапия кезінде дозиметриялық өлшеулерді метрологиялық қамтамасыз ету» BR12967832 ғылыми бағдарламасын жүзеге асыру шеңберінде жүзеге асырылды.

**Нәтижелері:** 95% сенімділік аралығындағы өлшеу дәлдігі шамамен 1,2% екендігі анықталды. Радиация көзінің белсенділігі және оны қоршаған өрістің таралуы халықаралық Атом энергиясы агенттігі ұсынған әдістермен өлшенді.

**Қорытынды:** Біздің жағдайда осы екі әдіспен өлшенген мәліметтер арасындағы айырмашылық 1,2%-ды құрайды. Үшінші әдісте радиохромды қабықтың көмегімен сәулелену көзінің таралуы емдеу жоспарына сәйкес келетіні анықталды. Пайдаланушы өзінің медициналық мекемесінің техникалық жабдықталуын ескере отырып, сәулелену көздерін калибрлеудің жоғарыда аталған әдістерінің кез келгенін таңдауға құқылы.

**Түйінді сөздер:** Сапаны бақылау, ұңғыма камерасы, фантом, сәулелену көзі, радиохромды қабық.

**Кіріспе:** Контактілі сәулелік терапия – герметикалық капсуламен қоршалған радиоактивті көз, қысқа қашықтықта ұлпаішілік, қуысшілік немесе беттік сәулелену үшін қолданылатын сәулелік емдеу әдісі. Бұл әдіспен радиацияның жоғары дозаларын жергілікті, мақсатты көлемге, қоршаған сау тіндерде дозаның тез төмендеуімен жеткізуге болады.

Мұндай сәулелік емдеуді жүргізу үшін әртүрлі өндірушілердің жанаспалы сәулелік терапия аппараттары қолданылады. Осындай құрылғылардың бірі Астана қаласы әкімдігінің «Көпсалалы медициналық орталық» кәсіпорнында «VARIAN» компаниясының «GammaMedPlus» брахитерапиялық қондырғысын пайдаланады. Радиоактивті көз ретінде 74,2 күндік жартылай шығарылу кезеңі бар Ir-192 қолданылды. Сонымен қатар, Қазақстанның басқа қалаларында радиоактивті көз ретінде Co-60 изотопы бар «Мультидереккөз» құрылғылары қолданылады.

Көздерді дәл калибровкалау дозиметриялық маңызды процедуралардың бірі болып табылады. Радиоактивті көз медициналық мекемеге төлқұжатпен келеді, онда оның өндірілген кездегі белсенділігі көрсетіледі [1-3].

Сіз құрылғыны қуаттау кезінде тек төлқұжат деректеріне ғана сенім арта алмайсыз. Әрбір медициналық мекемеде кіріс көзінің белсенділік мәнін тексеру мүмкіндігі болуы керек және тек паспортқа сәйкес көрсетілген және мекемеде өлшенген мән арасындағы қатені анықтау арқылы науқастарға жоспарлау жасап, емдеуді бастауға болады [4-5].

Құрылғыны қуаттау кезінде сіз жай ғана төлқұжат деректеріне сүйене алмайсыз. Әрбір медициналық мекеме кіріс көзінің белсенділік мәнін тексере алуы керек және төлқұжатта көрсетілген мән мен мекемеде өлшенген мән арасындағы қатені анықтау арқылы ғана пациенттерді емдеуді жоспарлауға және емдеуді бастауға болады.

Әдебиеттерге сәйкес, КСТ-де қолданылатын көзді калибрлеу келесі жолдармен жүзеге асырылуы мүмкін: пішінді камераның көмегімен көздің белсенділігін өлшеу және терінің эквивалентті фантомының көмегімен ауа кермасының қуатын өлшеу.

**Бұл мақаланың мақсаты** бірінші ретті калибрлеу әдістерін және олардың медициналық мекемелерде қолданылуын талдау болып табылады.

**Материалдар мен әдістер.** Кез-келген радионуклид көзінің негізгі параметрі – бұл Кюри (Ки) бірлікте-

рімен сипатталатын белсенділік. Бос нүктедегі ауа кермасының қуаты белсенділік туындысына және сәйкес гамма тұрақтысына пропорционал:

$$K_{\text{исх}} = Y \times A \quad (1)$$

мұндағы,  $K_{\text{ref}}$  – ауа кермасының қуаты [сГрхм<sup>2</sup>/сағ],  $Y$  – гамма тұрақтысы [сГрхм<sup>2</sup>/Киxсағ],  $A$  – белсенділік [Ки].

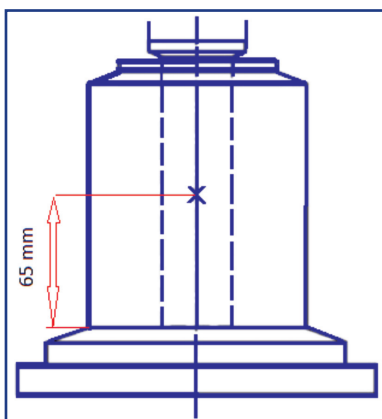
*Радиация көздерінің белсенділігін өлшеу.* Біздің жағдайда көздің белсенділігін өлшеу үшін: «sourcecheck 4л» құдық тәрізді дозиметриялық камера. - SN 122350», «Unidos E» фирмасының PTW fraiburg электрометрі, ұзындығы 100 см стандартты катетер, оның бір ұшы көздің ең төменгі бөлігіне түсіріледі. камера, ал екінші ұшы қосқыш арқылы жылдам босатылатын құрылғыға (1-Сурет).



1 – ұңғыма тәріздес камера; 2 – адаптер; 3 – стандартты катетер; 4 – quick-коннектор  
Сурет 1 – GammamedPlus HDR (Ir-192) брахитерапиялық құрылғысы мен ұңғыма тәріздес иондаушы камера «Sourcecheck 4л. - SN 122350»

Ұңғыма камерасының техникалық құжаттамасына сәйкес, анықтамалық нүктенің мәні, яғни камерада өлшенетін шаманың максималды мәні камераның түбінен 65 мм қашықтықта орналасқан. (2-сурет). Осыған байланысты құрылғыны басқарудың компьютерлік жүйесінің интерактивті режимінде әр позицияда 10 секунд кідіріспен және 5 мм позициялар арасындағы қадаммен 10 позиция бойынша сынақ жоспары құрылады. Алғашқы 5 позиция камераның тірек нүктесінен жоғары, ал келесі 5 позиция осы нүкте-

ден төмен болуы керек. Сынақ жоспары орындалады, электрометрдегі мәндер ампермен бекітіледі және максималды ток мәні бар нүкте анықталады. Камера адаптеріндегі көздің орналасуын дәлірек анықтау үшін әрқайсысы 40 секунд кідірісі және 2 мм қадамы бар бес позицияны максималды нүктеден екі позицияға өңдеу үшін сынақ жоспарын жасау керек. Өлшеу кезінде мәнді дәл анықтау үшін әр қадамда максималды мәнді бекіту керек, ал максималды мән осы қадамдар арасында алынады [6].



Сурет 2 –Құдық тәріздес камерасындағы референсті нүктесінің орналасуы

Өлшенген радиация көзінің белсенділігі келесі формула бойынша анықталады:

$$A = I \times N_k \times Y^{-1} \quad (2)$$

мұндағы,  $A$  – өлшенген белсенділік (Ки);  $I$  – өлшенетін токтың ең үлкен мәні келесі шарттарды ескергенде: температура мен қысымның стандартты жағдайлардан

ауытқу коэффициенті, өлшеу кезінде поляризация мен рекомбинация әсерінің коэффициенті ( $A$ );  $N_k$  – ауа кермасы шамасымен анықталатын құдық тәріздес камерасының калибрлеу коэффициенті (Грхм<sup>2</sup>/Ахсағ);  $Y$  – гамма тұрақтысы (сГрх м<sup>2</sup>/Киx сағ).

Сондай-ақ келесі формула бойынша ыдырауды ескере отырып, өлшеулер кезіндегі белсенділіктің паспорттық мәнін анықтау қажет:

$$A_n = A_0 \times e^{-0,00938 \times t} \quad (3)$$

мұндағы,  $A_n$  – ыдырауды ескере отырып өлшеулер кезіндегі радиациялық көздің белсенділік паспорттық мәні (Ки);  $A_0$  – радиация көзін дайындау кезіндегі белсенділіктің мәні (Ки);  $t$  – көзді өндіру мен өлшеу сәтіндегі уақыт арасындағы уақыт кезеңі (күн).

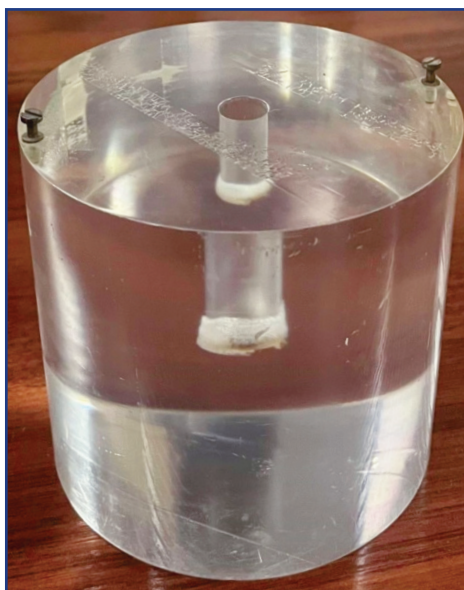
Ыдырауды ескере отырып, өлшеулер кезінде өлшенген белсенділік пен сертификаттағы белсенділік мәні арасындағы қатені анықтаймыз:

$$\Delta = (A - A_n) \times 100\% / A_n \quad (4)$$

Техникалық құжаттамаға сәйкес қателік 2% аспауы керек [7].

*Ауа кермасының қуатын өлшеу.* Ауа кермасының қуатын өлшеу үшін «Sourcecheck 4т.- SN 122350» дозиметриялық құдық тәріздес камерасы, PTW Freiburg компанияның «Unidos E» электрметрмен тіндік эквивалентті фантомы қолданылды.

Тіндік эквивалентті фантом – диаметрі 200 мм және биіктігі 104 мм диаметрі 110 мм үш саңылауы бар PMMA материалынан жасалған цилиндр. Бұл саңылауларға әртүрлі өлшеу камералары мен катетерлерге арналған адаптерлерді салуға болады. Ұзындығы 100 см стандартты катетердің бір ұшы адаптердің ортаңғы бөлігіне толығымен түсіріледі және оның ұшына аппликатор қосылады. Басқа бүйірлік тесіктер бірдей материалдан жасалған тұтас цилиндрлермен жабылған (3-сурет).



3 – Сурет. Тіндік эквивалент фантомы

Өлшемдер үшін бастапқы позицияны анықтау процедурасы, белсенділікті өлшеу процедурасына ұқсас, яғни тіндік фантомының техникалық құжаттамасынан, камераға түсірілген адаптердегі саңылаудың тереңдігін табамыз, ол фантомның бетінен 60 мм қашықтықта орналасқан. Осы тармаққа қатысты 5 позицияға емдеу сынақ жоспары жасалынады, 2 позиция осы нүктеден төмен, басқалары жоғарыда, позицияда кідіріс 40 секунд, қадам 2 мм құрайды. Әрі қарай, өлшеу ұзақтығына өлшенген максималды электр зарядын аламыз және токтың максималды мәнін аламыз.

Фантомдағы өлшемдерден алынған стандартты ауа керма қуаты келесі формула бойынша табылады [8-13]:

$$K_{ref} = (I \times N_k \times P_r \times F_{wp} \times F_{sc} \times F_{geo} \times P_w \times d) / t \quad (5)$$

мұндағы,  $K_{ref}$  – ауа керма қуаты (сГрхм<sup>2</sup>/сағ);  $I$  – өлшеу кезінде поляризация мен рекомбинация әсерінен максималды токтың мәні (температура мен қысымның стандартты жағдайлардан ауытқуын ескергенде) (А);  $N_k$  – ауа кермасы шамасында анықталатын иондау камерасының калибрлеу коэффициенті (Грхм<sup>2</sup>/Ахсағ);  $P_r$  – фантомдық материалды ионизациялық камераның қуысымен ауыстыруын ескеретін түзету коэффициенті;  $F_{wp}$  – фантомдық материал мен судың электронды тығыздығының айырмашылығын ескеретін түзету коэффициенті;  $F_{sc}$  – өлшеу жүргізілген фантомдағы, толық шашыраңқы фантом үшін,

шашыраңқы сәулелену мөлшерінің айырмашылығын ескеретін түзету коэффициенті;  $F_{geo}$  – судағы шашырау мен жұтылуын ескеретін түзету коэффициенті;  $P_w$  – калибровка кезінде камераның қабырғасы мен қақпағында сәулелену шашырауы мен жұтылуының түзету коэффициенті;  $d$  – ионизациялық камера центрінен катетер осіне дейінгі қашықтық (м);  $t$  – өлшеу кезіндегі радиация көзінің сәулелену уақыты (сағ).

(1) формуланы қолданып, белсенділікті анықтаймыз. Өлшенген белсенділік пен ыдырауды ескере отырып, өлшеулер кезіндегі сертификатталған белсенділік мәні арасындағы қателік те 2%-дан аспауы керек. Егер бұл қателік 2%-дан асса, бірақ 10%-дан аз болса, құрылғының бағдарламалық құралын пайдалану арқылы қателік мәнін түзетуге болады. Егер қателік 10%-дан асса, бастапқы өндірушіге хабарласу керек.

*Радиоохромды қабыршақ дозиметриясы.* Радиоохромды қабыршақ өлшемдері құдық тәріздес камерасының өлшемдеріне сәулелену көзінің геометриясының әсерін, сандық түрде зерттеу үшін, бастапқы фантомдағы дозаның таралуын алу үшін қолданады. Эксперименттік әдістер брахитерапиялық радиация көзінің беттік дозалық сипаттамаларын зерттеу үшін, радиация көзінен 1 см және 2 см тереңдікте 2 Гр дозасы бар қабыршақты сәулелендіру арқылы жасалады. Пленка арқылы өлшеу кезінде, аппликатор бойында радиоактивті көз жоспарланған позиция бойынша қозғалады. Экспозиция үшін

екі 10x10 см шаршы өлшемдегі қабыршақ пайдаланылды және кейін 300 нүкте/дюймде Epson Expression 10000 XL планшетті сканері арқылы сканерленді. Сканерлеудің пиксельдік мәндерін таза үш түрлі түстерге түрлендіру арқылы талдау жасалады, алдында әрбір суреттегі шуды азайту үшін медианалық сүзгі қолданылды.

**Нәтижелері:** Брахитерапия үшін радиоактивті көздерді калибровкалауда, қашықтықтан сәулелік терапия аппараттарынан, радиация көздерін калибровкалау кезіндегі кездесетін мәселелерден ерекшеленетін бірқатар мәселелері бар. Жалпы, брахитерапияда қолданылатын көздерді калибровкалау, радиоактивті көздерден 1-5 см қашықтықта доза градиентін ескере отырып, емдеуде қолданылатын геометриялық жағдайларда жүргізілуі керек. Демек, өлшенетін изотоп үшін калибровкаланған құдық тәріздес камераны пайдаланып, бастапқы белсенділікті өлшеуге болады және гамма тұрақты коэффициенті арқылы ауа керма қуатын әрі қарай анықтауға болады. Немесе пациентті емдеудің геометриялық шарттарын жуықтайтын тіндік эквивалентті фантомда ауа керма қуатын өлшеуге болады. Бұл әдістердің екеуі де бірдей. Бірінші әдістің артықшылығы оны орындаудың қарапайымдылығы және есептеу алгоритмі үшін қолданылатын калибровкалау коэффициенттерінің ең аз саны болып табылады. Екіншісінің артықшылығы - өлшеу әдісі пациенттердің сәулеленуі кезіндегі болатын нақты жағдайларға жақындайды.

**Талқылау:** Брахитерапияда радиоактивті көздерді калибровкалаудың өзіндік қиындықтары бар. Бұл зерттелген жұмыста радиоактивті көздің сипаттамаларын өлшеудің бірнеше әдістері көрсетілген. Бірінші әдісте, арнайы камерамен тікелей өлшеу арқылы изотоптың белсенділігін анықтайды. Екінші әдісте ауа кермасын өлшеу әдісі көрсетілген. Үшінші әдіс ол радиохромды қабыршақты қолданып, радиоактивтілік өрісін, дозаның таралуын өлшеу жолы жазылған. Мұнда сонымен қатар бірінші әдістің тиімдірек екені көрсетілген, себебі бірінші әдістен қателік жіберу мүмкіндігінің ықтималдылығы төмен екендігі анықталады және өлшеу әдісінің қарапайымдылығы, бұл әдісті тиімді етеді.

**Қорытынды:** Біздің жағдайда осы екі әдіспен өлшенген деректер арасындағы айырмашылық 1,2%-ды құрайды. Үшінші әдісте радиохромды қабыршақты қолдану арқылы, радиация көзінің таралуының емдік жоспармен сәйкес келуі анықталды. Пайдаланушы өз емдеу мекемесінің техникалық жабдықталуын ескере отырып, сәулелену көздерді калибровкалаудың жоғарыда аталған әдістерінің кез келгенін таңдауға құқылы.

#### Әдебиеттер тізімі:

1. Гарибальди С, Эссерс М, Хеймен Б, Бертолет Дж, Куцувели Е, Шварц М, Берт С, Бодале М, Касарес-Магаз О, Герскевич Е, Коньярова

И, Корреман С, Лиссабона А, Лопес Медина А, Маас А, Моекли Р, Мур М, Петрович Б, Пиотровски Т, Поли Е, Презато Ю, Рейнарт Н, Редален К.Р., Стилиану Маркиду Э, Вереллен Д, Хорнет Н., Кларк Ч.Х. 3-я основная учебная программа ESTRO-EFOMP для специалистов медицинской физики в области лучевой терапии // *Radiother. Oncol.* - 2022. - Т. 170. - С. 89-94. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2022.02.012>

2. Хитова-Топкарова Д., Паякова В., Костова-Лейфтерова Д., Иванова М., Васильева-Славева М., Йорданов А. Электронная брахитерапия гинекологических онкологических заболеваний – систематический обзор // *Доклад. Практика. Онкол. Радиодругое.* - 2023. - Т. 28. - С. 79-87. <https://doi.org/10.5603/rpor.a2023.0003>

3. Томадсен Б.Р., Биггс П.Дж., Кардарелли Г.А., Чу Дж.Ч., Кормак Р.А., Фенг В., Хитон Х.Т., 2-е место, Хайатт Дж.Р., Лоу Дж.Н., Лиммер Дж.П., Ухиб З., Пай С., Пиллаи С., Ринзор М.Р., Ривард М.Дж., Уолдрон Т.Дж., Колдуэлл Б.С., Холт Р.В., Пайк Т.Л., Сафиоли Х., Стейси К., Вейганд Ф. Управление качеством электронной внутриволостной брахитерапии на основе анализа риска: отчет ААРМ TG 182 // *Med. Phys.* - 2020. - Т. 47 (4). - П. e65-e91. <https://doi.org/10.1002/mp.13910>

4. Батлер В.М., Байс В.С. младший, ДеВерд Л.А., Хевези Дж.М., Хук М.С., Ибботт Г.С., Палта Дж.Р., Ривард М.Дж., Сентдженс Дж.П., Томасен Б.Р. Калибровка сторонних источников для брахитерапии и обязанности физиков: отчет ААРМ по низкоэнергетической брахитерапии Рабочая группа по калибровке источников // *Med. Phys.* - 2008. - Т. 35. - П. 3860-3865. <https://doi.org/10.1118/1.2959723>

5. Раджаби Р., Тахерпарвар П. Дозиметрия Монте-Карло для нового источника брахитерапии 32P с использованием кода FLUKA // *J. Contemp Brachytherapy.* - 2019. - Т.11. - С.76-90. <https://doi.org/10.5114/jcb.2019.83002>

6. Смит Б.Р., Дьюэрд Л.А., Калберсон В.С. О стабильности калибровочных коэффициентов мощности источника ионизационной камеры колодезного типа // *Med. Phys.* - 2020. - Т.47. - С. 4491-4501. <https://doi.org/10.1002/mp.14247>

7. Международное агентство по атомной энергии. Дозиметрия в брахитерапии – Международный свод правил для вторичных стандартов Дозиметрические лаборатории и больницы / Серия технических отчетов No. 492. – Вена: МАГАТЭ, 2023. <https://www.iaea.org/publications/15202/dosimetry-in-brachytherapy-an-international-code-of-practice-for-Secondary-standards-dosimetry-laboratories-and-hospitals>

8. Шуллер А., Мейер М., Селбах Х.Дж., Анкерхольд У. Поправочный коэффициент качества излучения k(Q) для ионизационных камер колодезного типа для измерения эталонной мощности кермы в воздухе источников брахитерапии с <sup>60</sup>Со HDR // *Med. Phys.* - 2015. - Т. 42. - С.4285-4294. <https://doi.org/10.1118/1.4922684>

9. Хайатт Дж.Р., Ривард М.Дж., Хьюз Х.Г. Оценка моделирования калибровочного стандарта скорости воздушной кермы NIST для электронной брахитерапии // *Med. Phys.* - 2016. - Т. 43. - С. 1119-1129. <https://doi.org/10.1118/1.4940791>

10. Чанг Л., Хо С.Ю., Ли Т.Ф., Дин Х.Дж., Чен П.Ю. Калибровка Ir-192 на воздухе с камерой Фермера для HDR-брахитерапии // *J. Med. Biol. Engl.* - 2016. - Т. 36. - С.145-152. <https://doi.org/10.1007/s40846-016-0117-0>

11. Смит Б.Р., Мика Дж.А., Айма М., Дьюэрд Л.А., Калберсон В.С. Определение прочности воздушной кермы источника HDR <sup>192</sup>Ir, включая исследование геометрической чувствительности метода семи расстановок // *Med. Phys.* - 2017. - Т. 44. - С. 311 – 320. <https://doi.org/10.1002/mp.12017>

12. Диез П., Эйрд ЭГА, Сандер Т, Гулдстон К.А., Шарп ПХГ, Ли С.Д., Лоу Г, Томас РАС, Симнор Т, Боунс ПЛ, Бидмон М, Гандон Л, Итон Д, Палмер А.Л. Многоцентровый аудит абсолютной дозиметрии HDR/PDR-брахитерапии в сочетании с исследованием INTERLACE (NCT015662405) // *Phys. Med. Biol.* - 2017. - В. 62. - С. 8832-8849. <https://doi.org/10.1088/1361-6560/aa91a9>

13. Палмер А.Л., Нэш Д. Радиохромная пленочная дозиметрия в лучевой терапии: обзор современной практики в Великобритании // *Br J Radiol.* - 2024. - В. 97. - С.646-651. <https://doi.org/10.1093/bjrt/tae008>

#### АННОТАЦИЯ

### ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КАЛИБРОВКЕ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ КОНТАКТНОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

А.Т. Тулегенова<sup>1,2</sup>, Д.А. Мусаханов<sup>1,3</sup>, Н.М. Тулбаева<sup>1</sup>, М.С. Өмірзақ<sup>1</sup>, О.Қ. Сейтов<sup>1</sup>, К.Д. Датбаев<sup>1</sup>, Е.И. Ишкинин<sup>4</sup>

<sup>1</sup>АО «Казакский научно-исследовательский институт онкологии и радиологии», Алматы, Республика Казахстан

<sup>2</sup>НАО «КазНУ им.аль-Фараби», Алматы, Республика Казахстан

<sup>3</sup>НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», Астана, Республика Казахстан

<sup>4</sup>Алматинский онкологический центр, Алматы, Республика Казахстан

**Актуальность:** В настоящей работе показаны два метода калибровки источника ионизирующего излучения в брахитерапии. Первый способ – измерение активности излучения колодезной камерой, второй способ – измерение кермы воздуха ионизационной камерой. Также показано применение радиохромной пленки и способ проведения с ней измерений. Актуальность проведения вышеуказанных методов калибровки источника ионизирующего излучения в брахитерапии объясняется необходимостью обеспечения высокой точности и надежности лечения. Использование всех методов калибровки обеспечивает многоуровневый подход к контролю

качества и безопасности брахитерапии. Комбинированное использование ионизационной камеры, измерения мощности воздушной кермы и радиоохромной пленки позволяют достичь высокой точности дозиметрии, что критически важно для успешного лечения пациентов и минимизации побочных эффектов.

**Цель исследования** – анализ методов первичной калибровки и возможности их применения в медицинских учреждениях.

**Методы:** Данные источника излучения от производителя сравниваются с измерениями методом, предлагаемым в статье. Для оценки распределения начальной дозы в фантоме было проведено облучение радиоохромной пленки. Данное научное исследование проведено в рамках реализации научной программы ПЦФ «Метрологическое обеспечение дозиметрических измерений в контактной лучевой терапии», ИРН BR12967832.

**Результаты:** Установлено, что точность измерения составляет около 1,2% при доверительном интервале 95%. Активность источника радиации и распределение поля вокруг него измерялись методами, рекомендованными МАГАТЭ.

**Вывод:** В нашем случае разница между данными, измеренными этими двумя методами, составляет 1,2%. В третьем методе установлено, что с использованием радиоохромной пленки распределение источника излучения совпадает с планом лечения. Пользователь имеет право выбрать любой из вышеперечисленных способов калибровки глаза с учетом технической оснащенности своего медицинского учреждения.

**Ключевые слова:** Контроль качества, колодезная камера, фантом, источник излучения, радиоохромная пленка.

## ABSTRACT

### PRACTICAL RECOMMENDATION FOR CALIBRATION OF RADIATION SOURCES USED FOR CONTACT RADIOTHERAPY

A.T. Tulegenova<sup>1,2</sup>, D.A. Mussakhanov<sup>1,3</sup>, N.M. Tulbayeva<sup>1</sup>, M.S. Omirzak<sup>1</sup>, O.K. Seitov<sup>1</sup>, K.D. Datbayev<sup>1</sup>, Y.I. Ishkinin<sup>4</sup>

<sup>1</sup>«Kazakh Institute of Oncology and Radiology» JSC, Almaty, the Republic of Kazakhstan;

<sup>2</sup>«al-Farabi Kazakh National University» NJSC, Almaty, the Republic of Kazakhstan;

<sup>3</sup>«L.N. Gumilyov Eurasian National University» NJSC, Astana, the Republic of Kazakhstan;

<sup>4</sup>Almaty Oncology Center, Almaty, the Republic of Kazakhstan

**Relevance:** This paper presents two methods for calibrating ionizing radiation sources in brachytherapy. The first method involves measuring the radiation activity using a well chamber, while the second method involves measuring the air kerma using an ionization chamber. Additionally, the application and measurement method of radiochromic film is demonstrated. The relevance of the above calibration methods of the ionizing radiation source in brachytherapy is explained by the need to ensure high accuracy and reliability of treatment. All calibration methods provide a multilevel approach to quality control and safety of brachytherapy. Combining an ionization chamber, air kerma power measurement, and radiochromic film allows for high dosimetry accuracy, which is critical for successfully treating patients and minimizing side effects.

**The study aimed to** analyze primary calibration methods and their applicability in medical institutions.

**Methods:** The data from the radiation source provided by the manufacturer is compared with the measurements obtained using the method proposed in the article. Radiochromic film was exposed to radiation to assess the initial dose distribution in the phantom. This scientific research was carried out within the framework of the PCF scientific program "Metrological support of dosimetric measurements in contact radiation therapy," IRN BR12967832.

**Results:** It has been established that the measurement accuracy is approximately 1.2% at a 95% confidence interval. The activity of the radiation source and the field distribution around it were measured using methods recommended by the IAEA.

**Conclusion:** In our case, the difference between the data measured by these two methods is 1.2%. Using the third method, which involves radiochromic film, it has been established that the radiation source distribution matches the treatment plan. The user has the right to choose any of the calibration methods mentioned above for the eye, taking into account the technical capabilities of their medical facility.

**Keywords:** Quality control, well chamber, phantom, radiation source, radiochromic film.

**Зерттеудің ашықтығы:** Авторлар осы мақаланың мазмұнына толық жауап береді.

**Мүдделер қақтығысы:** Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

**Қаржыландыру:** Бұл ғылыми зерттеу "Контактті сәулелік терапияда дозиметриялық өлшемдерді метрологиялық қамтамасыз ету" БНҚ ғылыми бағдарламасын іске асыру шеңберінде, Қазақстан Республикасының Сауда және Интеграция Министрлігі ЖРН -BR12967832 жүргізілді.

**Авторлардың үлесі:** тұжырымдамаға қосқан үлесі – Тулегенова А.Т., Мусаханов Д.А.; ғылыми дизайн – Тулбаева Н.М., Сейтов О.К.; мәлімделген ғылыми зерттеулерді орындау – Өмірзақ М.С., Сейтов О.К., Датбаев К.Д.; мәлімделген ғылыми зерттеулерді түсіндіру – Ишкин Е.И.; ғылыми мақаланы құру – Тулегенова А.Т., Мусаханов Д.А.

**Авторлар деректері:**

**Тулегенова А.Т. (хат жазушы автор)** – ф.-м.ғ.к., PhD, Жобаның ғылыми жетекшісі, «ҚазОРФЗИ» ақ ғылыми қызметкері, қатты дене және бейсызықтық физика кафедрасының доцентінің м.а., «Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ» КеАҚ, Алматы, Қазақстан Республикасы, тел: +77079199951, e-mail: tulegenova.aida@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5701-6674;

**Мусаханов Д. А.** – т.ғ.к., радиотехника, электроника және телекоммуникация кафедрасының оқытушы-зерттеушісі, «Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ» КеАҚ, Астана, Қазақстан Республикасы, тел: +77019989787, e-mail: Mussakhanov\_da@enu.kz, ORCID ID: 0000-0002-1823-2526;

**Тулбаева Н.М.** – Дозиметрия және сәулелік терапияны физика-техникалық қамтамасыз ету бөлімшесінің меңгерушісі, «ҚазОРФЗИ» АҚ, Алматы, Қазақстан Республикасы, тел: +77774897572, e-mail: nurgul.tm@mail.ru;

**Өмірзақ М.С.** – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, желілік үдеткіштерге қызмет көрсету жөніндегі инженер, дозиметрия және сәулелік терапияны физика-техникалық қамтамасыз ету бөлімшесі, «ҚазОРФЗИ» АҚ, Алматы, Қазақстан Республикасы, тел: +77779124411, e-mail: m.omirzaq@gmail.com, ORCID ID: 0009-0000-5026-6227;

**Сейтов О.Қ.** – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, желілік үдеткіштерге қызмет көрсету жөніндегі инженер, дозиметрия және сәулелік терапияны физика - техникалық қамтамасыз ету бөлімшесі, «ҚазОРФЗИ» АҚ, Алматы, Қазақстан Республикасы, тел: +77074857830, e-mail: olzhas\_seitov@mail.ru, ORCID ID: 0009-0004-9477-3262;

**Датбаев К.Д.** – техникалық ғылымдар магистрі, желілік үдеткіштерге қызмет көрсету жөніндегі инженер, дозиметрия және сәулелік терапияны физика-техникалық қамтамасыз ету бөлімшесі; медициналық физик, Қазақ онкология және радиология ФЗИ, Сәулелік терапия бөлімшесі, Алматы Онкологиялық Орталығы, тел: +77718507486, e-mail: kairdatbayev@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0453-2878;

**Ишкин Е.И.** – Ph.D, Сәулелік терапия бөлімшесінің меңгерушісі, Алматы Онкологиялық Орталығы, Алматы, Қазақстан, тел: +77772332963, e-mail: ishkininy@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5784-1255.

**Хат-хабарларға арналған мекен-жай:** Тулегенова А.Т., «Қазақ онкология және радиология ғылыми-зерттеу институты» АҚ, Абай даңғылы 91, Алматы қ., 050022, Қазақстан Республикасы.