

სამედიცინო პერსონალის რადიაციული უსაფრთხოების
დოზიმეტრული მონიტორინგი: სხივური და
ბირთვული მემდინის ცენტრი თბილისში *

გ. შანიძე

სხივური და ბირთვული მედიცინის ცენტრი
თბილისი, საქართველო
ninomarishanidze@gmail.com

მიღებულია 2022 წლის 5 ივლისს

ანოტაცია

მოწინავე სამედიცინო ტექნოლოგიების ბოლოდროინდელი სწრაფი განვითარების უშუალო შედეგს წარმოადგენს რადიაციის სულ უფრო მზარდი გამოყენება მედიცინაში როგორც დიაგნოსტიკური, ისე – თერაპიული მიზნებისათვის. შესაბამისად იმატებს არამხოლოდ პაციენტების, არამედ თავად სამედიცინო პერსონალის დასხივებასთან დაკავშირებული რისკებიც. აღნიშნული რისკების შემცირებისა და თავიდან აცილების ღონისძიებათა შემუშავებას საფუძველად უნდა დაედოს სამედიცინო პერსონალის რადიაციული უსაფრთხოების მდგომარეობის შეფასება მისი დეტალური და სანდო მონიტორინგის მეშვეობით. სტატია წარმოადგენს სამაგისტრო ნაშრომის პუბლიკაციას, რომლის მიზანიც იყო სამედიცინო პერსონალის რადიაციული უსაფრთხოების დოზიმეტრული მონიტორინგის შესწავლა ერთი კონკრეტული სამედიცინო დაწესებულების – სხივური და ბირთვული მედიცინის ცენტრის – სბმც (თბილისი, საქართველო) მაგალითზე. შესავალში ზოგადაა დახასიათებული სამედიცინო პერსონალის რადიაციული უსაფრთხოების პრობლემა. შემდეგ გაკეთებულია ლიტერატურული მიმოხილვა სამედიცინო დაწესებულებებში რადიაციული უსაფრთხოების მონიტორინგის თაობაზე. ზოგადად არის აღწერილი კლინიკებში და, მათ შორის, სბმც-ში მიმდინარე რადიაციული დიაგნოსტიკისა და რადიაციული თერაპიის პროცედურები. დახასიათებულია რადიაციული უსაფრთხოების დოზიმეტრული მონიტორინგის საშუალებები და სბმც-ში გამოყენებული დოზიმეტრები და რადიაციის იზოტოპური წყაროები, აგრეთვე, მოტანილი და გაანალიზებულია 2016 – 2020 წლებში სბმც-ის პერსონალის რადიაციული უსაფრთხოების დოზიმეტრული მონიტორინგის შედეგები. დასკვნების სახითაა შეჯამებული შესრულებული სამუშაოს ძირითადი შედეგები. სხივური და ბირთვული მედიცინის ცენტრის პერსონალის მიერ წლიურად მიღებული მინიმალური, საშუალო და მაქსიმალური რადიაციული დოზები, შესაბამისად, აღმოჩნდა 0.056, 2.076 და 7.600 მზვ. შეიძლება ითქვას, რომ ეს მონიტორინგი იმავე რიგის სიდიდეებს იძლევა, რასაც მსოფლიოს მასშტაბით განხორციელებული მონიტორინგები. თუმცა, ამ ცენტრის შედეგები მაინც უფრო მაღალია ტიპიურთან შედარებით.

* სტატია წარმოადგენს ავტორის მიერ 2022 წელს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში (ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი – სამედიცინო ფიზიკის სამაგისტრო პროგრამა) დაცული სამაგისტრო ნაშრომის (სამეცნიერო ხელმძღვანელი: პროფ. ლ. ჩხარტიშვილი) პუბლიკაციას.

1. შესავალი – სამედიცინო პერსონალის რადიაციული უსაფრთხოების პრობლემა

დღეს ჯანდაცვის სფეროს ბევრ თანამშრომელს, რომელიც მუშაობს საავადმყოფოში, თუნდაც პირის ღრუსა და სტომატოლოგიურ კლინიკაში, და, აგრეთვე, ვეტერინარიაში შეხება აქვს ამა თუ იმ რადიაციულ სამედიცინო პროცედურასთან. შეფასებულია, რომ მსოფლიოში 2.3 მლნ ასეთი ჯანდაცვის მუშაკია და მათი ნახევარი მაინც განიცდის ხელოვნური მაიონებელი რადიაციის ზემოქმედებას.

შეუძლებელია დასხივების სავსებით აცილება თავიდან. ადამიანი ვერ ასცდება თუნდაც ბუნებრივი გზით მიღებულ ე.წ. ფონურ დასხივებას. რაც შეეხება ხელოვნურ რადიაციას, არსებობს ღონისძიებები, რომელთა საშუალებითაც შესაძლებელია მისი წყაროებს ზემოქმედების შემცირება. რადიაციასთან მომუშავე პროფესიონალებისათვის, მინიმალური დასაშვები დოზების დიაპაზონს რადიაციისა და მისი პრაქტიკაში გამოყენების სფეროში ავტორიტეტული საერთაშორისო ინსტიტუტები ადგენენ. ჯანდაცვის დაწესებულებებმა კი უნდა მიიღონ შესაბამისი უსაფრთხოების ზომები, რათა რეგულაციებით დაიცვან ისინი, ვინც პროფესიული მოვალეობების გამო ექვემდებარება დასხივებას. რაც შეეხება სანიტრებს, რომლებიც მუშაობენ რადიაციის ზემოქმედების ქვეშ მყოფ განყოფილებებში, მათ თავადაც უნდა მიიღონ სიფრთხილის ზომები, რომ თავიდან აიცილონ რადიაციის წყაროსთან უშუალო კონტაქტი.

დადგენილია, რომ რადიოლოგიის განყოფილების მუშაკებში ყველაზე ხშირია ფარისებრი ჯირკვლის პრობლემები, თმის ცვენა და თვალის დაავადებები. ფლუოროსკოპიაში გამოყენებული რენტგენის სხივები კი განსაკუთრებით აზიანებს დნმ-ს, რომელიც, როგორც ცნობილია, პირდაპირ თუ ირიბად წარმართავს ყველა სასიცოცხლო და გენეტიკურ აქტივობას ორგანიზმის უჯრედებში. საქმე ისაა, რომ გამოსხივება უშუალოდ არღვევს ქიმიურ კავშირებს დნმ-ის მოლეკულებში და, შესაბამისად, აზიანებს მათ სტრუქტურას. გარდა ამისა, წყლის რადიოლიზის არაპირდაპირი ეფექტის პირობებში, რადიაცია იწვევს თავისუფალი რადიკალების წარმოქმნას დნმ-ის მოლეკულის ირგვლივ. და თუ ამ არასასურველ ეფექტებს ორგანიზმი ვერ ანეიტრალებს, ეს ჯანმრთელობის სერიოზულ პრობლემებს იწვევს.

ჯანდაცვის სფეროს მუშაკებს ყოველდღიურად აქვთ პროფესიული შეხება სხვადასხვა დიაგნოსტიკურ თუ თერაპიულ რადიოლოგიურ ჩარევასთან. მათზე რადიაციული ზემოქმედება იწვევს მწვავე (დერმატიტი, მუკოზიტი, თმის ცვენა) და, აგრეთვე, ხანგრძლივ ვადიან ანუ პროლონგირებული შედეგის მქონე (კატარაქტა, კანისა და გენეტიკური დაავადებები, კიბო) გართულებებს, დაკავშირებულს დნმ-ის ნორმალური ფუნქციონირების დარღვევასთან. კერძოდ, ჯანდაცვის იმ მუშაკებს, რომლებიც განიცდიან დასხივებას, პაციენტთა სხვა ჯგუფებთან შედარებით, სიმსივნე დაახლოებით 40%-ით უფრო ხშირად უვითარდებათ.

რადიაციის გვერდითი ეფექტების თავიდან აცილების მიზნით, რადიაციული დაცვის საერთაშორისო ასოციაციამ – რდსა (International Radiation Protection Association – IRPA) შეიმუშავა ჯანდაცვის მუშაკების მიერ მიღებული დოზის შეზღუდვისაკენ მიმართული სახელმძღვანელო მითითებები, რომლებიც პერიოდულად გადაისინჯება.

რადიაციული დაცვის პრინციპების სწორად განხორციელების ყველაზე მნიშვნელოვანი მეთოდი შესაბამისი განათლების მიღებაა. დღეს, რადიოლოგიური პროცედურების ინტენსიურობის ზრდის პირობებში, ჯანდაცვის ყველა მუშაკმა,

რომელსაც კი რაიმე სახის შეხება აქვს რადიაციასთან, უნდა იცოდეს, თუ როგორ ტარდება სწორად ეს პროცედურები და როგორ დაიცვან მათი თანმდევი დასახივებისაგან უკეთესად თავი. ჯანდაცვის მუშაკების რადიაციული დაცვის შესახებ ინფორმირებულობის ხარისხი მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ამ პრობლემისადმი სათანადო დამოკიდებულებასა და შესაბამისი წესების შესრულებაზე. არსებული მონაცემებით, რადიაციული დაცვის შესახებ ჯანდაცვის სფეროს მუშაკების ინფორმირებულობის დონე, მისდამი დამოკიდებულება და ამგვარი მუშაობის გამოცდილება ქვეყნების მიხედვით განსხვავებულია.

გარდა ამისა, მრავალმა კვლევამ აჩვენა, რომ ზოგჯერ კარგი ცოდნის მქონე ჯანდაცვის მუშაკებიც კი არ ავლენენ დადებით დამოკიდებულებას რადიაციული დაცვის მიმართ. მრავალმა ინდივიდუალურმა კვლევამ კი რადიაციული დაცვის წესების ცუდი ცოდნა გამოავლინა. რადიაციული დაცვის სხვადასხვა სფეროში ჯანდაცვის მუშაკების ინფორმირებულობის, დამოკიდებულებისა და მუშაობის უფრო ზუსტი განსაზღვრა შეიძლება დაეხმაროს ჯანდაცვის ისეთი პოლიტიკის შემუშავებას, რომელიც უკეთესად მართავს ამ სფეროში გაცნობიერებულობის გაუმჯობესებას, დამოკიდებულებების შეცვლასა და მათ განხორციელებას. ქვეყნების უმრავლესობაში, საქართველოს ჩათვლით, ჯანდაცვის მუშაკების რადიაციული უსაფრთხოების შესახებ ინფორმირებულობის დონის დასადგენად ჩატარებული სამეცნიერო კვლევების რაოდენობა საკმაოდ შეზღუდულია. არადა სწორედ ამგვარი კვლევებით უნდა გაირკვეს ჯანდაცვის მუშაკების დამოკიდებულებები რადიაციული უსაფრთხოების მიმართ.

ხშირად მაიონებელი გამოსხივების წყაროებთან მომუშავე ჯანდაცვის პერსონალს უჭირს რადიაციული უსაფრთხოების შესახებ საკუთარი ცოდნისა და დამოკიდებულების გარდაქმნა ქცევის ნორმად. ჯანდაცვის პერსონალისათვის საჭირო დამცავი აღჭურვილობის მიუწვდომლობამ და მათი სამუშაო დროის რეგლამენტის შეუსაბამო რეგულირებამ შეიძლება შექმნას როგორც შრომის უსაფრთხოების, ასევე სამართლებრივი ხასიათის პრობლემები. ჯანდაცვის დაწესებულების მენეჯმენტის დაუდევრობის შემთხვევაში მას შესაძლოა დაუწესდეს სხვადასხვა სახის სისხლის სამართლებრივი სანქციები. სამედიცინო დაწესებულებებში პერსონალის რადიაციული უსაფრთხოების წესების დარღვევის თავიდან ასაცილებლად სწორად უნდა დაიგეგმოს ადამიანური რესურსები, რისკების ანალიზის მეთოდების გამოყენებითა და შიდა თრეინინგის ორგანიზებით.

სამედიცინო პერსონალის დასახივება უმეტესწილად ელექტრომაგნიტურ რადიაციასთან არის დაკავშირებული. რადიო- და მიკროტალღები, რენტგენის, გამა- და ინფრაწითელი სხივები, ხილული სინათლე, ესენი ყველა ელექტრომაგნიტური ტალღის სახეებია. ვაკუუმში (და კარგი მიახლოებით ჰაერშიც) ნებისმიერი ელექტრომაგნიტური ტალღა სინათლის სიჩქარით, ≈ 300000 კმ/წმ, ვრცელდება. მატერიის ორგვარი ბუნების – ნაწილაკურ-ტალღური დუალიზმის გამო, ელექტრომაგნიტური ტალღა შეგვიძლია შესაბამისი ნაწილაკების – ფოტონების ნაკადად წარმოვიდგინოთ. მაგრამ ტერმინი „რადიაცია“ გამოიყენება არამხოლოდ ფოტონების, არამედ ნებისმიერი სხვა სწრაფად მოძრავი ელემენტარული ნაწილაკების, როგორიცაა, მაგალითად, ელექტრონები, პროტონები და ნეიტრონები, ნაკადების აღსაწერადაც.

ნივთიერებაში და, კერძოდ, ბიოლოგიურ ქსოვილში გავლისას საკმარისი ენერგიის მქონე რადიაცია მის იონიზაციას იწვევს. მედიცინაში გამჭოლი რადიაცია გამოიყენება დაავადებათა დიაგნოსტიკისა და მკურნალობისათვის. თუმცა, ზოგჯერ ის იმდენად ინტენსიური იონიზაციის მიზეზია, რომ ჯანმრთელ ქსოვილებსაც კი

აზიანებს. ამიტომაც უნდა მივიღოთ უსაფრთხოების ზომები, როცა ვმუშაობთ რადიაციასთან.

გასათვალისწინებელია, რომ ყველა ტიპის გამოსხივება ნივთიერებასთან ერთნაირად არ ურთიერთქმედებს. რადიაცია, რომელსაც აქვს საკმარისი ენერგია ატომების გადასაადგილებლად მისი შთანთქმის უბნის მახლობლად არსებულ მოლეკულებში, ანდა აღძრავს მოლეკულების შემადგენელი ატომების რხევებს ერთმანეთის მიმართ, მაგრამ არა აქვს საკმარისი ენერგია ატომებიდან ელექტრონების ამოსაგლეჯად, მოიხსენიება, როგორც „არამაიონიზებელი გამოსხივება“. ამ სახის გამოსხივების მაგალითებია ხილული სინათლე და მიკროტალღები.

ადამიანის მთელი სხეულის კომპიუტერული ტომოგრაფიის დროს რადიაციული ზემოქმედება დაახლოებით 0.013 მზვ-ს შეადგენს. მედიცინაში ასევე გამოიყენება მაღალი ენერგიის მქონე ნაწილაკების ნაკადებზე მომუშავე აპარატურა, როგორცაა, მაგალითად, 4-დან 25 მეგაევ ენერგიამდე ელექტრონების ამაჩქარებლები. რადიაციის წყაროებს წარმოადგენენ დიაგნოსტიკისათვის გამოყენებული რენტგენის აპარატები, ფლუოროსკოპები, CT-აპარატები და სხვა; აგრეთვე, ბირთვული მედიცინისათვის განკუთვნილი რადიოაქტიური მასალები. რადიაციის წყაროებია სამკურნალოდ გამოყენებული წრფივი ამაჩქარებლები, სიმსივნეებისა და სხვა დაავადებათა სხივური ტელეტერაპიის აპარატები და სხვა, აგრეთვე, კიბოს სამკურნალო რადიოაქტიური წყაროები მცირე ზომის კონტეინერებში, გამიზნული პაციენტთა იმპლანტებისათვის. პაციენტებს, რომლებიც იღებენ რადიოაქტიური პრეპარატების თერაპიულ დოზებს ანდა ბრეჩიტერაპიის იმპლანტირებულ წყაროებს შეუძლიათ საფრთხე შეუქმნან სხვა ადამიანებს, რის გამოც ასეთ პაციენტებს შესაბამისი დროით აყოვნებენ კლინიკებში.

რადიაციის სადიაგნოსტიკო წყაროები, რენტგენის აპარატურისა და რადიოაქტიური მასალების ჩათვლით, რომლებიც გამოიყენება რადიოგრაფიასა და ფლუოროსკოპიაში, მოითხოვს რადიაციული უსაფრთხოების ისეთი ზომების მიღებას, რომ თავიდან ავიცილოთ პაციენტის ან სხვა რომელიმე პირის და, განსაკუთრებით, სამედიცინო პერსონალის დასხივება. რადიოგრაფიაში დასხივების დრო არის ძალიან ხანმოკლე – 1 წმ-ზე ნაკლები. ამ შემთხვევაში აპარატიდან რენტგენის სხივის გამოტყორცნა ხდება მაშინ, როდესაც ოპერატორი ააქტიურებს მართვის ღილაკს. ფლუოროგრაფიის აპარატის მიერ რადიაციის გამოსხივების დრო შეიძლება შედარებით მეტი იყოს. ისიც აღსანიშნავია, რომ ამ დროს სამედიცინო პერსონალი მუშაობს იმავე ოთახში, სადაც ხდება დასხივება. ესაა იმის მიზეზი, რომ ისინი ატარებენ დამცავ წინსაფრებს და ამ გზით მინიმუმამდე დადის დასხივების რისკი.

რენტგენის ფიქსირებული (სტაციონარული) აპარატები ძირითადად განლაგებულია რენტგენის ან რადიოლოგიის დეპარტამენტებში. თუმცა, ზოგჯერ ისინი კლინიკის სხვა ტერიტორიაზეც გვხვდება. ასეთია საოპერაციო და სასწრაფო დახმარების ოთახები. ის რენტგენის აპარატები კი, რომლებიც დიაგნოსტიკისათვის გამოიყენება, სპეციალურად დაცულ ოთახებშია განლაგებული. რენტგენის მობილური (პორტატული) აპარატები ფუნქციონირებენ მსგავსად ფიქსირებული აპარატებისა, მაგრამ მათი ტრანსპორტირება შესაძლებელია ისეთ პაციენტებამდე, რომელთაც დამოუკიდებლად მოძრაობა არ შეუძლიათ. მობილური აპარატები, ჩვეულებრივ, გამოიყენება პაციენტების გამოსაკვლევად საოპერაციო ან სარეაბილიტაციო ოთახებში, შესაბამისად, ოპერაციის დროს ან მის შემდეგ. სამედიცინო პერსონალმა შეიძლება მიიღოს მცირე დოზით დასხივება იმ პერიოდში, როდესაც აპარატი ჩართულია.

პერსონალმა, რომელიც ახორციელებს პაციენტების ფიქსირებას, უნდა ატაროს დამცავი წინსაფარი, ისევე როგორც – ოპერატორმა.

კომპიუტერული ტომოგრაფიები იყენებენ რენტგენის სხივებს პაციენტების ვიზუალიზაციისათვის. ეს პროცესი 1 – 30 წმ გრძელდება.

რადიოაქტიული მასალები ბირთვულ მედიცინაში სითხის, მყარი ტაბლეტის ანდა გაზის სახით გამოიყენება. როდესაც რაიმე (დიაგნოსტიკის ან მკურნალობის) მიზნით რადიოაქტიური იზოტოპი შეგვყავს ორგანიზმში, საკმარისი არ არის მხოლოდ მისი ნახევარდაშლის პერიოდის ცოდნა. საქმე ისაა, რომ ორგანიზმში შეყვანილი სხვადასხვა იზოტოპი სხვადასხვა ინტენსიურობით მონაწილეობს ნივთიერებათა ცვლაში და, შესაბამისად, სხვადასხვა სისწრაფით გამოიყოფა ორგანიზმიდან.

ერთეულთა საერთაშორისო სისტემაში SI შთანთქმული დოზის საზომი ერთეულია Gy (გრეი).

სხვადასხვა პრაქტიკული საჭიროებისათვის სხვა ტიპის დოზების ცნებებიც იქნა შემუშავებული. ასე მაგალითად, ეკვივალენტური დოზა H რადიაციისაგან ადამიანის დაცვის დონის შესაფასებლად იქნა შემოღებული, ხოლო ეფექტური დოზა E – რადიაციის შორეული არასასურველი შედეგების დასახასიათებლად და ამიტომ ისინი მხოლოდ ადამიანთან მიმართებით გამოიყენება. ამ სიდიდეების საზომი ერთეულია ზვ (ზივერტი).

ხაზი გავუსვით, რომ აღნიშნული სამი დოზური მაჩვენებელი – შთანთქმული, ეკვივალენტური და ეფექტური დოზები – მხოლოდ ინდივიდუალურად მიღებულ რადიაციულ ზემოქმედებას ახასიათებს.

მაგრამ ხშირად სტოქასტური ეფექტების შესაფასებლად საჭიროა ადამიანთა ჯგუფზე გამოსხივების სრული ზემოქმედების ანუ მოსახლეობის ან საწარმოს / დაწესებულების პერსონალის კოლექტიური დოზების განსაზღვრა. ინდივიდუალური ეფექტური დოზების ჯამი (ან, ყველა ადამიანის მიერ ერთნაირი დოზის მიღების შემთხვევაში, ამ დოზის ნამრავლი ადამიანთა რიცხვზე) გვაძლევს კოლექტიურ ეფექტურ დოზას, რომლის საზომი ერთეულია ზივერტი × ადამიანი. პოპულაციური დოზა, გამოანგარიშებული ქვეყნის მოსახლეობის მიმართ (იგივე კოლექტიური დოზა, ფართო გაგებით), იზომება ერთეულით ზივერტი / ადამიანი.

როგორც აღინიშნა, რადიოაქტივობის მთავარი მახასიათებელია ნახევარდაშლის პერიოდი T. ამ პერიოდის გავლის შემდეგ ნიმუშში რადიოაქტიური ნივთიერების რაოდენობა ნახევრით მცირდება. აქტივობა A(t) დროის ნებისმიერ t მომენტში შეგვიძლია გამოვითვალოთ ფორმულით:

$$A(t) = A_0 \exp(-0.693 t / T),$$

სადაც A₀ საწყისი აქტივობაა ანუ აქტივობა დროის t = 0 მომენტში.

გასათვალისწინებელია, რომ რადიოაქტიური მასალის ნიმუშის ზომა და წონა არაფერს გვეუბნება იმის შესახებ, თუ როგორია მისი აქტივობა. მაგალითად, ურანის ²³⁸U იზოტოპის ნახევარდაშლის პერიოდია 4.5 მლრდ წელი და მას აქვს მხოლოდ 0.00015 კიური აქტივობა თითო ფუნტზე, მაშინ როდესაც კობალტის ⁶⁰Co იზოტოპის ნახევარდაშლის პერიოდია 5.3 წელი და ის 1 ფუნტზე დაახლოებით 513000 კიური აქტივობით ხასიათდება.

სამედიცინო დაწესებულების პერსონალის რადიაციული უსაფრთხოების მონიტორინგის მიზანია ადრეული შეტყობინების მიწოდება, თუკი პიროვნების დასხივების დოზა არ არის დაწესებულ ზღვრებზე ქვემოთ. მონიტორინგის პროგრამა უზრუნველყოფს პერსონალის დასხივების მუდმივ ჩაწერას. სათანადო რეგულაციების

დაცვის სახელმწიფო მონიტორინგი საჭიროა მუშაკებისათვის, რომელთა მიერ მიღებული დოზა შესაძლოა აღემატებოდეს მინიმალური დასაშვები დოზის 10%-ს, ანდა პროფესიულ ზღვარს (500 მბერ) და, საზოგადოდ, ნებისმიერისათვის, ვინც კი მუშაობს მაღალი ან ძალიან მაღალი რადიაციის ზონებში. რადიაციასთან მუშაობის დროს უსაფრთხოებისათვის ატარებენ ტყვიის წინსაფრებს, ხოლო მონიტორინგისათვის – სხეულის სამკერდე დოზიმეტრებს. ასევე ატარებენ დოზიმეტრულ ბეჭდებს თითებზე, სადაც ყველაზე დიდი დასხივებაა მოსალოდნელი. ორივე ტიპის დოზიმეტრის წესისამებრი მოხმარება უზრუნველყოფს რადიაციის სწორად დეტექტირებას.

რადიაციული დაბინძურება ხდება მაშინ, როდესაც რადიოაქტიული მასალა სითხის, მტვრის ან ფხვნილის სახით ხვდება ადამიანის კანთან, თმასთან ან ტანსაცმელთან კონტაქტში. რადიოაქტიული მასალით გარეგანად დაბინძურებული ადამიანები შეიძლება შინაგანადაც დაბინძურდნენ, თუ ეს მასალა შეაღწევს ადამიანის სხეულში. შინაგანი დაბინძურება ხდება, როცა ადამიანი ჩაისუნთქავს, დალევს ან გადაყლაპავს რადიოაქტიურ მასალას. აღსანიშნავია, რომ რადიაციის ქვეშ მყოფი ადამიანი სულაც არაა სავალდებულო იყოს დაბინძურებული რადიოაქტიური მასალითაც. პირიქით კი, რადიაციულად დაბინძურებული ადამიანი აუცილებლად გამოყოფს რადიაციას სხეულში ან სხეულზე არსებული რადიოაქტიული მასალიდან.

რადიაციასთან მომუშავე პირს შეუძლია აკონტროლოს და შეზღუდოს ექსპოზიცია დროის, მანძილისა და სპეციალური დამცავების გამოყენებით. რადიაციის წყაროსთან ყოფნის დროის შემცირებით მომუშავე პერსონალის მიერ მიღებული დოზა შემცირდება ამ დროის პროპორციულად. ექსპოზიციის სიჩქარე მცირდება რადიაციის წყაროდან მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულად. თუ პროცედურის დროს რაიმე პრობლემა წარმოიშვება, პიროვნება არ უნდა შეჩერდეს რადიაციული წყაროს მახლობლად. ის ან თავად უნდა განერიდოს რადიაციის წყაროს ანდა შეინახოს ის უსაფრთხო ადგილას, თუკი ეს შესაძლებელია. ექსპოზიციის კონტროლი აგრეთვე ეფუძნება რადიაციული ფარების, ავტომატურად ჩაკეტვის მოწყობილობებისა და ადგილზე რადიაციული მონიტორინგის ინსტრუმენტების გამოყენებას. დროებითი ან პორტატული ფარების გარდა, ამ ტიპის დაცვა ჩვეულებრივ ჩაშენებულია ობიექტებში.

რაც უფრო სქელია დამცავი ფარი, მით უფრო მეტ რადიაციას შთანთქავს ის. რაც შეეხება ფარის მასალას, ტყვია და ბეტონი არის ყველაზე გავრცელებული რენტგენისა და გამა-გამოსხივების წინააღმდეგ გამოსაყენებლად გამოიყენებული ფარების დასამზადებლად. ისინი ეფექტურად ბლოკავენ რადიაციის სხივს. რენტგენის ოთახების კედლები ტყვიითაა დაფარული, რათა შემცირდეს რადიაცია კედლის მეორე მხარეს. ტყვიის წინსაფრები, ფარისებრი ჯირკვლის ტყვიის ფარები და ტყვიის ხელთათმანები ჩვეულებრივ გამოიყენება სხეულის ცალკეული ნაწილების დასაცავად დიაგნოსტიკური რენტგენოგრაფიისა და პორტატული რენტგენის აპარატებთან მუშაობისას. ტყვიის აგურები, ფლაკონები, შპრიცის ფარები და სხვა ხელსაწყოები გამოიყენება რადიაციის ზემოქმედების შესამცირებლად ბირთვული მედიცინისა და რადიაციული ონკოლოგიის განყოფილებებში.

დაბოლოს, მოკლედ დავახასიათოთ სამედიცინო პერსონალის იმ წევრების ძირითადი მოვალეობები, რომლებიც უშუალოდ არიან პასუხისმგებელი რადიაციულ მონიტორინგსა და უსაფრთხოებაზე.

– **სამედიცინო (ჯანმრთელობის დაცვის) ფიზიკოსების** სტაფი მართავს რადიაციული უსაფრთხოების პროგრამას საავადმყოფოს გარემოში. ყველა ისინი ანგარიშვალდებული არიან რადიაციული უსაფრთხოების ოფიცრის წინაშე.

– **ბირთვული მედიცინის ფიზიკოსი** – ესაა კვალიფიციური ექსპერტი, რომელიც მონიტორინგს უწევს სამედიცინო ექსპოზიციის ოპტიმიზებას, კლინიკური დოზიმეტრიისა და ხარისხის კონტროლის ჩათვლით; გასცემს რჩევებსა და რეკომენდაციებს რადიაციულ დაცვასთან დაკავშირებულ საკითხებზე. ამ მოთხოვნებს უნდა აკმაყოფილებდეს სამედიცინო ფიზიკოსი სპეციალური გამოცდილებით ბირთვულ მედიცინაში. ბირთვული მედიცინის ფიზიკოსი მჭიდროდ თანამშრომლობს ბირთვული მედიცინის ტექნიკოსთან კლინიკური კვლევების ოპტიმიზაციაში გამოსახულების მიღების, ანალიზის, დისპლეიზე გამოტანისა და აღჭურვილობის ხარისხის კონტროლზე მუდმივი ზედამხედველობის გზით.

– **რადიაციული უსაფრთხოების ოფიცერს** პასუხისმგებელი პირი გადასცემს რადიაციული დაცვის მოვალეობებს. მას უნდა ჰქონდეს საკმარისი პროფესიული და / ან ტექნიკური მომზადება მოცემულ სამკურნალო დაწესებულებაში რადიაციული უსაფრთხოების საკითხებზე ზედამხედველობისა და შესაბამისი რჩევებისა და რეკომენდაციების გასაცემად. მან უნდა უზრუნველყოს პასუხისმგებელი პირის ინფორმირებულობა ცენტრში რადიაციული უსაფრთხოების მდგომარეობის თაობაზე.

წინამდებარე სტატია მიზნად ისახავს მაიონებელი გამოსხივების წყაროებთან მომუშავე ჯანდაცვის პერსონალის დასხივების დადგენას კონკრეტულ სამედიცინო დაწესებულებაში მაიონებელი გამოსხივების რისკების თავიდან აცილებისა და რადიაციული უსაფრთხოების უზრუნველყოფის დონის შეფასების მიზნით. რამდენადაც ჩვენთვისაა ცნობილი, საქართველოში ასეთი კვლევა ჯერ არ ჩატარებულა.

2. ლიტერატურული მიმოხილვა – რადიაციული უსაფრთხოების მონიტორინგი სამედიცინო დაწესებულებებში

სამედიცინო დაწესებულების რადიოლოგიური პერსონალის მიერ აუცილებლად დასაცავი რადიაციული უსაფრთხოების ძირითადი წესები დეტალურად არის ჩამოყალიბებული წიგნში [1], რომელიც წარმოადგენს ამ მიმართულების ერთერთ უახლეს გამოცემას.

სამედიცინო პერსონალის რადიაციული უსაფრთხოების საკვანძო საკითხების საკმაოდ დეტალური ანალიზი მოცემულია სტატიაში [2]. კერძოდ აღნიშნულია, რომ მთელ მსოფლიოში რენტგენული გამოსახულების გამოყენების მუდმივი ზრდა გავლენას ახდენს სამედიცინო პერსონალის რადიაციული დაცვის შედეგებზე. ერთი შეხედვით, გაზრდილი მოხმარების დიდი ნაწილი შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც უბრალოდ დატვირთვის პრობლემა, ყოვლგვარი ახალი გამოწვევების გარეშე. თუმცა, ახალმა ტექნოლოგიურმა მიღწევებმა და ტექნიკის განვითარებამ გამოიწვია იმგვარი რენტგენული პროცედურების რაოდენობის ზრდა, სადაც სამედიცინო პერსონალს სჭირდება ფიზიკური კონტაქტი პაციენტთან რადიაციული ზემოქმედების პირობებში. ბევრი ასეთი პროცედურის სირთულე მდგომარეობს იმაში, რომ საკმაოდ დიდია პროფესიული ექსპოზიცია და უნდა იქნას შესაბამისი ზომები მიღებული, რათა დავრწმუნდეთ, რომ პროფესიული ექსპოზიციის დონე იმდენად დაბალია, რამდენადაც ეს შესაძლებელია. მაგალითად, მომავალში თუ დაიწევს თვალის ლინზის დასხივების ზღვრული დოზა, საჭირო გახდება თვალის დამცავების გამოყენება. განათლება და სწავლება რადიაციულ დაცვაში კონკრეტულ სიტუაციებთან მიმართებით, გეგმიური სამუშაო პროცედურების ჩატარება, შესაბამისი დამცავი ხელსაწყოების ხელმისაწვდომობა და გამოყენება და მონიტორინგის ეფექტური პროგრამა – ეს ყველა

აუცილებელი კომპონენტია იმის უზრუნველსაყოფად, რომ სამედიცინო პერსონალი რენტგენული გამოსხივებისაგან ადეკვატურად და სათანადოდ იქნება დაცული. ქვემოთ, სწორედ ამ სტატიაზე დაყრდნობით გადმოვცემთ სამედიცინო პერსონალის რენტგენული გამოსხივებისაგან დაცვის პრობლემის არსს.

როგორც აღინიშნა, მსოფლიოში სამედიცინო მიზნით რადიაციის გამოყენება განუხრელად იზრდება. გაერთიანებული ერების ორგანიზაციის ატომური რადიაციის ეფექტების სამეცნიერო კომიტეტის – გაერო არესკ (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation – UNSCEAR) შეფასებით, მსოფლიოში წელიწადში დაახლოებით 4 მლრდ რენტგენოლოგიური გამოკვლევა ტარდება. ყველა ეს პროცედურა უნდა შესრულდეს სამედიცინო პერსონალის მიერ პოტენციური თანმხლები პროფესიული რადიაციული ზემოქმედების პირობებში. აქვს თუ არა გავლენა რენტგენის გამოსახულებებზე მზარდ მოთხოვნას პერსონალის რადიაციულად დაცულობაზე? შეიძლება რენტგენოსკოპიის მზარდი გამოყენება ჩაითვალოს უბრალოდ სამუშაო დატვირთვის პრობლემად, რაიმე ახალი განსაკუთრებული გამოწვევების გარეშე? ამ კითხვებზე პასუხის გაცემისას მხედველობაშია მისაღები, რომ არსებობს რამდენიმე ისეთი ტიპის რენტგენული გამოსახულება, რომელთა მიღების პროცედურაც მოითხოვს პერსონალის პაციენტთან ახლოს ყოფნას. და სწორედ ეს პროცედურები წარმოადგენენ გამოწვევას სამედიცინო პერსონალის სათანადო რადიაციული დაცვით უზრუნველყოფისათვის.

ტერმინი „რენტგენული გამოსახულება“ აქ და ქვემოთ გამოიყენება როგორც დიაგნოსტიკური რადიოლოგიის, ისევე გამოსახულებით მართვადი ინტერვენციული პროცედურების აღსანიშნად. პროფესიული რადიაციული დაცვა მიიღწევა რადიოლოგიური დაცვის საერთაშორისო კომისიის – რდსკ (International Commission on Radiological Protection – ICRP) სამი პრინციპის

- იუსტირება
- ოპტიმიზება
- დოზის შეზღუდვა

გამოყენებით. პრაქტიკაში. რენტგენული გამოსახულების მიღებისას, სამედიცინო პერსონალისათვის რადიაციული დაცვა წარმოადგენს ოპტიმიზებასა და დოზის შეზღუდვას. ეს უკანასკნელი, სავარაუდოდ, უფრო მეტად მნიშვნელოვანი ფაქტორია. თუმცა, უნდა ვაღიაროთ, რომ იუსტირების პრინციპის მკაცრად დაცვის ნაკლებობა იწვევს არასაჭირო რენტგენოლოგიური გამოკვლევების მნიშვნელოვან რაოდენობას და ესეც ზრდის პროფესიულ დასხივებას.

აქ ვერ გადმოვცემთ სამედიცინო პერსონალის რადიაციული დაცვის ყველა ასპექტს. ამის ნაცვლად, ყურადღებას ძირითადად გავამახვილებთ პროფესიული რადიაციული დაცვის ისტორიულად არსებულ გამოწვევებზე, მათ შორის, იმ ფაქტორების მოკლე განხილვაზე, რომლებიც განსაზღვრავენ პროფესიული ექსპოზიციის დონეს რენტგენული გამოსახულების მიღების დროს.

და მაინც რა განსაზღვრავს პროფესიული ექსპოზიციის დონეს რენტგენული გამოსახულების მიღების პროცესში? ამ კითხვაზე პასუხის გაცემას ართულებს ის გარემოება, რომ რენტგენული გამოსახულების მიღების პროცედურებთან დაკავშირებული პროფესიული ექსპოზიციის დონე ძალზე ცვალებადია და მერყეობს პოტენციურად უმნიშვნელოდან, როგორიცაა გულმკერდის მარტივი რენტგენოსკოპია, კომპლექსურ ინტერვენციულ შემთხვევებამდე. რა არის ამის მიზეზი?

პროფესიული თვალსაზრისით, რადიაციული ზემოქმედების ორი „წყარო“ არსებობს. ცხადია, რენტგენის მილაკი არის რადიაციის ერთადერთი ნამდვილი წყარო. მაგრამ პრაქტიკაში ძალიან ცოტა უნდა იყოს სიტუაციები, როდესაც პერსონალი უშუალოდ პირველადი სხივის ზემოქმედების ქვეშ ხვდება. რჩება სხვა „წყარო“ პაციენტის სახით: პირველადი სხივის ურთიერთქმედება პაციენტის სხეულის ნაწილთან წარმოქმნის ყველა მიმართულებით განბნეულ რადიაციას. ასე რომ, უმეტეს შემთხვევაში პროფესიული ექსპოზიციის მთავარი განმსაზღვრელია პერსონალის სიახლოვე პაციენტთან მისი ექსპოზიციის დროს. გარდა ამისა, განბნევის დონე დიდწილად განპირობებულია პაციენტისათვის მიწოდებული დოზით. აქედან გამომდინარეობს მნიშვნელოვანი დასკვნა, რომ პაციენტისათვის დოზის შემცირება საჭირო სამედიცინო შედეგის მისაღწევად აუცილებელ მინიმუმამდე იმავდროულად ამცირებს პოტენციურ პროფესიულ ექსპოზიციასაც. საერთოდ სასარგებლო პრინციპია ის, რომ თუ პერსონალი ზრუნავს პაციენტზე, ეს ნიშნავს, რომ ისინი იმავდროულად ზრუნავენ საკუთარი პროფესიული ექსპოზიციის შემცირებაზეც.

ბევრ შემთხვევაში, როგორცაა რადიოგრაფია, მამოგრაფია და ზოგადი კომპიუტერული ტომოგრაფია, არ არის საჭირო პერსონალი პაციენტთან ფიზიკურად ახლოს იმყოფებოდეს. ეს გარემოება ორგანოდ უწყობს ხელს კარგ პროფესიულ რადიაციულ დაცვას. პირველი, პაციენტისაგან შორს ყოფნა განბნეული რადიაციის პერსონალამდე მიღწევის შანსს ამცირებს. საქმე ისაა, რომ პაციენტისაგან, როგორც წყაროსაგან, გამოსხივებული რადიაციის ინტენსიურობა მანძილის მიხედვით შებრუნებული კვადრატის კანონით იკლებს. მაგალითად, მანძილის ორჯერ გაზრდისას რადიაციის ინტენსიურობა ოთხჯერ შემცირდება. მეორე ფაქტორი კი ისაა, რომ პაციენტსა და პერსონალს შორის შესაძლებელია სტრუქტურული ფარების განთავსება. მაგალითად, ფარი შეიძლება დამონტაჟდეს საკონტროლო ოთახის ბარიერის კედელსა და ფანჯარაში, რაც გამოიწვევს პერსონალისათვის დასხივების დოზის შემცირებას. ოთახის შესაბამისი დიზაინი სპეციალური, რადიაციული დაცვის ექსპერტის მიერ შემოწმებული, დამცავებით უნდა უზრუნველყოფდეს იმას, რომ პროფესიული ექსპოზიცია არსებითად ნულოვანი იყოს.

თუმცა, არსებობს რამდენიმე ისეთი სიტუაცია, როგორცაა, მაგალითად, ფლუოროსკოპიული გამოკვლევები ანდა გამოსახულების გამოყენებით მართული ინტერვენციული პროცედურები, როდესაც აუცილებელია პაციენტთან ახლო ფიზიკური კონტაქტი რადიაციის არსებობის პირობებში. ასეთ შემთხვევებში მანძილის ზრდა ანდა სტრუქტურული დაცვა აღარ არის გამოსავალი. რა შეიძლება გაკეთდეს ამ პერსონალისათვის? დასხივება შეიძლება შესუსტდეს დამცავი ტანსაცმლით, რომელსაც ატარებს პერსონალი – წინსაფრები, სათვალეები და ფარისებრი ჯირკვლის ფარები; ასევე – დამცავი ხელსაწყოებით, როგორცაა ჭერზე შეკიდული ან მაგიდაზე დამონტაჟებული დამცავი ეკრანები. დამცავი ფარდები ან მოძრავი ეკრანები შეიძლება განთავსდეს პაციენტსა და პერსონალს შორის. ტყვიის ფენის ეკვივალენტური შთანთქმის უნარიანობიდან და რენტგენის სხივების ენერგიიდან გამომდინარე, წინსაფარი შთანთქავს განბნეული გამოსხივების 90%-ს ან უფრო მეტსაც.

დამცავი ფარის კონსტრუქციები სხვადასხვანაირია, დაწყებული უბრალოდ სხეულის მხოლოდ წინა ნაწილის ფარიდან და დამთავრებული მთელი სხეულის დამცავით. ეს ხერხი მხოლოდ მაშინ გამოიყენება, თუ პერსონალს ხშირად უწევს რადიაციის წყაროსთან ახლო კონტაქტი. ჭერზე დაკიდებულ დამცავ ეკრანებს შეუძლიათ უზრუნველყონ მნიშვნელოვანი დაცვა. მაგრამ მათი ეფექტურობა

დამოკიდებულია განლაგების სისწორეზე. ასეთი ეკრანები იცავს სხეულის მხოლოდ ნაწილს (როგორც წესი, სხეულის ზედა ნაწილს – თავსა და თვალებს) და მათი გამოყენება დამატებითია დამცავი ტანსაცმლის ტარების მიმართ. ზოგჯერ დამცავი ეკრანის განლაგება შეუძლებელია კლინიკური მიზეზების გამო. მაგიდაზე დამონტაჟებული დამცავი ფარდები ასევე უზრუნველყოფენ დამატებით დაცვას, როგორც წესი, სხეულის ქვედა ნაწილისა და ფეხებისათვის. კომპლექსური გამოსახულებით მართვადი ინტერვენციული პროცედურების კიდევ ერთი ვარიანტია პაციენტის ერთჯერადი დამცავი ფარდების გამოყენება. ეს არის ფარდები, რომლებიც თავსდება პაციენტზე საოპერაციო ადგილის მომზადების შემდეგ.

ვინაიდან თვალის ბროლი ძალიან მგრძნობიარეა რადიაციის მიმართ, პაციენტთან ახლოს მომუშავე პირებისთვის თვალების მიერ მიღებული დასხივების დოზა შეიძლება გახდეს დაუშვებლად მაღალი. დამცავი სათვალეების, განსაკუთრებით კი გვერდითი დამცავი სათვალეების ტარებამ შეიძლება შეამციროს ეს დოზა 90%-ით. მაქსიმალური ეფექტურობის მისაღწევად კი რეკომენდებულია მაჩვენებელი მონიტორის განთავსება, რათა დავრწმუნდეთ თვალის დამცავის ეფექტურობაში. არსებულ მეცნიერულ არგუმენტაციაზე დაყრდნობით, სავარაუდოდ, თვალების დაცვის ზომებს მომავალში მეტი ყურადღება მიექცევა და თვალის ბროლისათვის ამჟამად დადგენილი ზღვრული დოზა შემცირდება.

არის სიტუაციები, რომლებიც ჩვეულებრივ ასოცირდება ისეთი გამოსახულების გამოყენებით მართულ ინტერვენციულ პროცედურებთან, როდესაც ოპერატორის ხელები შეიძლება უნებურად მოხვდეს რენტგენის პირველად სხივში. ამ დროს, დამცავი ხელთათმანების გამოყენება შეიძლება იყოს რეკომენდებული. მაგრამ ასეთი ხელთათმანები შეიძლება აღმოჩნდეს არაპროდუქტიული, რადგანაც მათი მოხვედრა პირველადი სხივის არეში იწვევს რადიაციის დოზის სიჩქარის ავტომატურ ზრდას, რაც აკომპენსირებს მათ დამცავ მნიშვნელობას. ხელთათმანებმა ასევე შეიძლება შეანელონ პროცედურა და გამოიწვიონ უსაფრთხოების ცრუ შეგრძნება. ბევრად უმჯობესია პერსონალის იმგვარი მომზადება, რათა შორს დაიჭირონ საკუთარი ხელები პირველადი სხივიდან. იმის უზრუნველყოფა, რომ რენტგენის მილაკი განთავსებული იყოს მაგიდის ქვემოთ, წარმოადგენს საუკეთესო დაცვას, როდესაც სამედიცინო პერსონალის ხელები ახლოს უნდა იყოს რადიაციის წყაროსთან. საქმე ისაა, რომ პირველადი სხივი სუსტდება პაციენტის სხეულში გავლის შემდეგ.

იმის გამო, რომ რადიოლოგიური დატვირთვა საკმაოდ განსხვავებულია სხვადასხვა სპეციალისტისათვის, აუცილებელი დამცავი საშუალებები ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში უნდა იყოს მითითებული სამედიცინო ფიზიკოსის ანდა რადიაციული დაცვის ექსპერტის მიერ. მაგალითად, კარდიოლოგიურ ლაბორატორიაში მაღალი დატვირთვის მქონე პერსონალმა უნდა გამოიყენოს ყველა ზემოთ აღწერილი დამცავი ხელსაწყო, ხოლო ორთოპედიულ კომპლექსში მყოფ პერსონალს შეიძლება დასჭირდეს მხოლოდ უბრალო დამცავი წინსაფარი.

ბევრმა ფაქტორმა შეიძლება მოახდინოს გავლენა ფლუოროსკოპიულ გამოკვლევებზე და გამოსახულების გამოყენებით მართულ ინტერვენციულ პროცედურებზე და, შესაბამისად, როგორც პაციენტის მიერ მიღებულ დასხივების დოზაზე, ისე – პროფესიულ ექსპოზიციაზე. ამიტომ აუცილებელია, რომ პერსონალს, რომელიც ახორციელებს ასეთ პროცედურებს, გავლილი ჰქონდეს ეფექტური თრეინინგი რადიაციულ დაცვაში: მათ გააზრებული უნდა ჰქონდეთ აღნიშნული ფაქტორების გავლენა. ამ პროცედურების პოტენციური პროფესიული ზემოქმედების

ფართო ცვალებადობის გამო ასევე მნიშვნელოვანია, რომ პირადი მონიტორინგი განხორციელდეს მუდმივად და მართებულად.

რენტგენოგრაფიის და, მათ შორის, მამოგრაფიის სფეროში ტრადიციული – ფირზე დაფუძნებული ტექნოლოგიის ჩანაცვლებამ ციფრული სისტემებით პაციენტის დოზები ძირითადად უცვლელი დატოვა, მაგრამ პაციენტის გამჭვირვალობა ვიზუალიზაციის ოთახში გაზარდა. საერთო ჯამში კი პროფესიული რადიაციული დაცვაზე გავლენა მინიმალური იყო.

კომპიუტერული ტომოგრაფიის დროს მრავალი დეტექტორის სკანერები გამოიყენება. კვლავ იმისდა მიხედვით, თუ რამდენად კარგადაა ოპტიმიზებული ვიზუალიზაციის პროტოკოლები, პაციენტის დოზები ძირითადად მსგავსია მათი „ერთფენიანი“ წინამორბედებისა. არსებული ტენდენციით, სავარაუდოდ, შემცირდება პაციენტის დოზები, რადგან მწარმოებლები აგრძელებენ დოზის დაზოგვის ახალი ფუნქციების დანერგვას. ახლა გამოსახულების მიღება ბევრად უფრო სწრაფია და კომპიუტერული ტომოგრაფიის გამოყენებაც იზრდება, რაც განაპირობებს შესაბამისი დიაგნოსტიკური ოთახის უფრო მეტ დატვირთვას. ეს კი, თავის მხრივ, იწვევს სტრუქტურული ფარების რაოდენობის გაზრდას პროფესიული რადიაციული დაცვის დასაშვები სტანდარტების შესანარჩუნებლად.

ახალმა ტექნოლოგიებმა და ტექნიკამ რამდენიმე შემთხვევაში მოგვცა კომპლექსური დიაგნოსტიკური და ინტერვენციული პროცედურების განხორციელების შესაძლებლობა უფრო სარისკო ქირურგიული ჩარევების თავიდან აცილების უპირატესობით. მაგრამ ზოგი ასეთი პროცედურა წარმოადგენს გამოწვევას სამედიცინო პერსონალის რადიაციული დაცვისათვის.

CT-ფლუოროსკოპია ხელს უწყობს ბიოფსიის ჩატარებას რეალურ დროში ტომოგრაფიული სურათების წარმოქმნით, რათა უკეთ წარიმართოს ინტერვენცია. თუმცა, რადგანაც ინტერვენციონისტი პაციენტთან ძალიან ახლოს იმყოფება, არსებობს მის ხელებზე პირველადი სხივის მოქმედების პოტენციური შესაძლებლობა. ასე მაგალითად, დაფიქსირებულია ხელის მიერ მიღებული დოზა 0.6 მზვ-მდე მხოლოდ 20 წმ ხანგრძლივობის პროცედურისათვის.

ინტერვენციულ რადიოლოგიაში ან კარდიოლოგიაში მთავარი ოპერატორები ძალიან ახლოს რჩებიან პაციენტის მაგიდასთან, სადაც განბნეული გამოსხივების ინტენსიურობა შეიძლება იყოს ძალიან მაღალი. მაგალითად, კარდიოლოგიურ პროცედურაში, როდესაც რენტგენის მილაკი მაგიდის ქვეშ დგას, ოპერატორის პოზიციაზე განბნეული რადიაციის დოზის სიხშირე მის თავიდან ფეხებამდე შეიძლება მერყეობდეს დაახლოებით 0.5-დან 10 მზვ/სთ-მდე. ადვილი მისახვედრია, რომ ამ პირობებში კუმულატიურმა დოზამ შეიძლება გადააჭარბოს ზღვრულ დოზას და მიაღწიოს ასობით მზვ-ს წელიწადში, თუკი არ იქნება მიღებული დამატებითი დამცავი ზომები. ისინი უფრო ვრცლად არის აღწერილი ინტერვენციული რადიოლოგიის შემთხვევაში ევროპის კარდიოვასკულარული და ინტერვენციული რადიოლოგიის საზოგადოებისა – ეკვირს და ინტერვენციული რადიოლოგიის საზოგადოების – ირს მიერ პროფესიული რადიაციული დაცვის შესახებ გამოქვეყნებულ გაიდლაინებში.

დღეს ბევრი ფლუოროსკოპიით მართული პროცედურა ტარდება რადიოლოგიის განყოფილებების გარეთ, მობილური C-arm ან O-arm-ის გამოყენებით, მაგალითად, ორთოპედიულ, გასტროენტეროლოგიურ, უროლოგიურ და სისხლძარღვთა საოპერაციოებში. ამ პროცედურებში რადიაციის გამოყენება შეიძლება მერყეობდეს დიაპაზონში ფლუოროსკოპიის ძალიან მოკლე დროიდან ანუ < 0.5 წთ ტიპური

ორთოპედიული პროცედურისათვის ძალიან ხანგრძლივ პერიოდამდე, როგორცაა 60 – 90 წთ აორტის ანევრიზმის მკურნალობისას.

რადიაციული დაცვის პროგრამა – რდპ (Radiation Protection Programme – RPP) წარმოადგენს სამედიცინო პერსონალის ეფექტური პროფესიული რადიაციული დაცვის განხორციელების ერთ-ერთ ძირითად საშუალებას შესაბამისი მენეჯმენტის სტრუქტურების მიერ პოლიტიკის, პროცედურებისა და ორგანიზაციული ღონისძიებების გატარებით. რენტგენული გამოსახულების მიღებაზე მომუშავე სამედიცინო პერსონალისათვის შესაბამისი თემებია: პერსონალის მიერ ადგილობრივი წესებისა და პროცედურების დაცვის საჭიროება, პერსონალური დამცავი აღჭურვილობის უზრუნველყოფის ღონისძიებები, რადიაციული დაცვის შესახებ განათლებისა და ტრენინგის პროგრამა, ინდივიდუალური მონიტორინგის ღონისძიებები და მეთოდები. რდპ-ის მოქმედება პერიოდულად განიხილება და ტარდება მისი აუდიტი.

განათლება და ტრენინგები რადიაციულ დაცვაში ეფუძნება რადიაციული დაცვის პრაქტიკაში განხორციელებას. ქვეყნების უმეტესობას დაწესებული აქვს მარეგულირებელი მოთხოვნები ტრენინგებისათვის. რენტგენული გამოსახულების მიღებისას, პერსონალს ესაჭიროება ტრენინგი არამხოლოდ პროფესიული რადიაციული დაცვის სფეროში, არამედ – პაციენტის რადიაციული დაცვის საკითხებშიც, რადგან, როგორც აღინიშნა, ამ უკანასკნელს შეუძლია საგრძნობი უკუგავლენა მოახდინოს პროფესიულ ექსპოზიციაზე.

გამოქვეყნებულია, მაგალითად, ევროკომისიის სახელმძღვანელოები იმის თაობაზე, თუ რას უნდა მოიცავდეს სამედიცინო პერსონალის ტრენინგი. ამგვარი ტრენინგის რამდენიმე რესურსი თავისუფლად არის ხელმისაწვდომი. მათ შორისაა ატომური ენერგიის საერთაშორისო სააგენტოს – აესს (International Atomic Energy Agency – IAEA) მასალები დიაგნოსტიკური და ინტერვენციული რადიოლოგიისა და კარდიოლოგიისათვის და ინსტრუმენტი: მულტიმედია და ინტერვენციულ რადიოლოგიაში აუდოვიზუალური რადიაციული დაცვის ტრენინგი – მირარდთ (Multimedia and Audiovisual Radiation Protection Training in Interventional Radiology – MARTIR), რომელიც განსაკუთრებით სასარგებლოა დისტანციური სწავლების მიზნებისათვის. აღნიშნული მიზეზების გამო გადაწყვეტია, რომ რადიაციული დაცვის სწავლების პროგრამები გაიაროს იმ პერსონალმაც, რომელიც იმყოფება რადიოლოგიის განყოფილების გარეთ, მაგრამ ჩართულია რენტგენოლოგიური გამოსახულების მიღების პროცედურებში.

რენტგენოგრაფიაში აუცილებელია პროფესიული ექსპოზიციის მონიტორინგი, ვინაიდან პროფესიული ექსპოზიცია დასხივების დოზათა შეზღუდვებს ექვემდებარება, როგორც ეს ნაჩვენებია **ცხრილში 1**. ეს ზღვრული დოზები დადგენილია იმის უზრუნველსაყოფად, რომ პროფესიული რადიაციული ზემოქმედებისაგან გამოწვეული რისკები არ იყოს მიუღებელი. ეფექტური დოზის სახით გამოხატული დოზის შეზღუდვა ეხება კიბოს და მემკვიდრეობით ეფექტებს, ხოლო დოზის (ეკვივალენტური დოზის აზრით) სხვა შეზღუდვები ემსახურება რადიაციული ეფექტების თავიდან აცილებას კონკრეტულ ცოცხალ ქსოვილებში ანდა სხეულის კონკრეტულ უბნებზე. დაცვის ოპტიმიზების პრინციპის გამოყენებამ უნდა უზრუნველყოს, რომ სამედიცინო პერსონალის პროფესიული დოზები რენტგენული გამოსახულების მიღებისას იყოს ისეთივე დაბალი, როგორც გონივრულად მიღწევადი, და, როგორც წესი, დოზის ზღვრულ მნიშვნელობებზე – ბევრად დაბალი.

**ცხრილი 1. რეკომენდებული ზღვრული დოზები პროფესიული
ექსპოზიციისათვის რენტგენის გამოსახულების მიღებისას
(ადაპტირებულია რდსკ-ის რეკომენდაციებიდან).**

დოზის რაოდენობა	ზღვრული პროფესიული დოზა ^ა
ეფექტური დოზა	20 მზვ/წ საშუალოდ ყოველ 5 მომდევნო წელიწადში (ანუ 100 მზვ 5 წელიწადში და 50 მზვ ნებისმიერ წელიწადში)
ეკვივალენტური დოზა: თვალის ბროლი ^ბ	150 მზვ/წ
კანი ^ბ	500 მზვ/წ
კიდურები	500 მზვ/წ

^ა ეროვნულ რეგულაციებში შეიძლება განსხვავებული ზღვრული დოზები იყოს მითითებული.

^ბ ეს ზღვარი განიხილება რდსკ-ის სამუშაო ჯგუფის მიერ.

^გ გასაშუალოებული კანის ყველაზე მაღალი დასხივების უბნის 1 სმ²-ზე.

ინდივიდუალური მონიტორინგის მიზანია რადიაციული დაცვის ეფექტურობის შეფასება და უსაფრთხო სამუშაო პირობების შექმნის ხელშეწყობა ეკვივალენტური და ეფექტური დოზებისა და რადიოაქტიური დაბინძურების ეკვივალენტური დოზის სიმძლავრის რეგულარული გაზომვისა და შედეგების შეფასების მონაცემების გამოყენების გზით.

გარდა ამისა, რეგულარული განხილვის გზით ინდივიდუალური მონიტორინგის შედეგები გამოიყენება ოპტიმიზების სტრატეგიების ეფექტურობის შესაფასებლად. ყოველთვისაა იმედი, რომ მონიტორინგის შედეგები დაადასტურებს კარგი პრაქტიკის არსებობას. ეფექტური და ეკვივალენტური დოზების შეფასება შეიძლება ჩატარდეს აკრედიტებული ინდივიდუალური მონიტორინგის სერვისის მიერ სათანადოდ შექმნილი და კალიბრებული დოზიმეტრების გამოყენებით, რომელთაც სამედიცინო პერსონალი ატარებს რენტგენოლოგიური გამოსახულებების მიღების ამოცანების შესრულებისას.

მნიშვნელოვანია პერსონალური დოზიმეტრების სწორად ტარება. რენტგენული გამოსახულებების მიღებისას ეს შეიძლება გართულდეს, იმის მიხედვით, თუ რა როლს ასრულებს მონიტორინგის ქვეშ მყოფი პირი და მოიხმარს თუ არა იგი ყოველთვის ან თუნდაც ხანდახან დამცავ წინსაფრებს. თუ ჯანდაცვის მუშაკი, ჩვეულებრივ, შორს არის პაციენტისაგან და დაცულია ჩაშენებული ფარით, მაშინ, როგორც წესი, საკმარისია ერთი დოზიმეტრის ტარება სხეულის წინა მხარეს, მხრებსა და წელს შორის. თუმცა, თუ ის გამოსახულების მიღების დროს მუშაობს პაციენტთან ახლოს და ატარებს დამცავ წინსაფარს, მაშინ წინსაფრის ქვეშ მოთავსებული ერთი დოზიმეტრი უზრუნველყოფს სხეულის დაცულ ნაწილებზე ზემოქმედების კარგ შეფასებას, მაგრამ ვერ აფასებს რადიაციის ზემოქმედებას იმ ორგანოებზე, რომლებიც დამცავი წინსაფრის გარეთაა. ასეთ შემთხვევებში, რადგან თვალის მიერ მიღებული დოზა ხშირად ყველაზე მეტად შემამფოთებელია, რეკომენდებულია ორი დოზიმეტრის ტარება, ერთის წინსაფრის ქვეშ, ხოლო მეორისა – გარეთ, როგორც წესი, მხრის ან საყელოს დონეზე. ორი დოზიმეტრის შედეგები შეიძლება გაერთიანდეს ეფექტური დოზის უკეთ შესაფასებლად, ასევე თვალის პარციალური დოზის დასადგენად.

ზოგიერთ შემთხვევაში რენტგენული გამოსახულების მიღების დროს შეიძლება ცალკე მოთხოვებოდეს თითებისა და ხელების მონიტორინგი. ამისათვის საჭიროა სპეციალური დოზიმეტრები, როგორიცაა ბეჭდის ან სამაჯურის დიზაინის

დოზიმეტრები. მნიშვნელოვანია დოზიმეტრის მოთავსება იმ პოზიციაზე, სადაც, სავარაუდოდ, დასხივების ყველაზე მაღალი დოზაა მოსალოდნელი. და ეს შეიძლება არც იყოს დომინანტური ხელი.

ინდივიდუალური მონიტორინგის ყველა შემთხვევაში უნდა იქნას მიღებული კონკრეტული რჩევა სამედიცინო ფიზიკოსის ან რადიაციული დაცვის ექსპერტისაგან. ინდივიდუალური მონიტორინგის ერთერთ პრაქტიკულ სირთულეს წარმოადგენს იმის უზრუნველყოფა, რომ მონიტორინგის ქვეშ მყოფი პერსონალი რეალურად ყოველთვის ატარებდეს დოზიმეტრებს რადიაციასთან მუშაობისას.

არასრული შესაბამისობა ნიშნავს, რომ პირზე პროფესიული რადიაციული ზემოქმედება არ არის შეფასებული და, თუ მონიტორინგთან ასეთი შეუსაბამობა ხშირია, მაშინ მთლიანი პროფესიული ჯგუფისთვისაც დოზები ვერ იქნება შეფასებული. რეალობა კი ის არის, რომ მედიცინის ბევრი მუშაკი, სხვადასხვა მიზეზთა გამო, ყოველთვის არ ატარებს დოზიმეტრს, მაგალითად, მარტივი დაუდევრობის გამო ანდა მონიტორინგის მიზანმიმართულად თავიდან აცილების მიზნით, რათა მისი შედეგები დარჩეს ადმინისტრაციული ან მარეგულირებელი გამოკვლევის ზღვარს ქვემოთ.

ინდივიდუალური დოზიმეტრიის განვითარება შეიძლება დაეხმაროს მონიტორინგთან შესაბამისობის საკითხის გადაჭრას. მაგალითად, ვითარდება ტექნოლოგია, რომელიც იყენებს პერსონალური ელექტრონული მონიტორინგის კომპაქტურ მოწყობილობებს, რომლებიც უსადენებოდ უკავშირდებიან საბაზო სადგურს. შესაძლებელია რამდენიმე ასეთი მოწყობილობით მონიტორინგი ერთდროულად განხორციელდეს. ასე რომ, კომპლექსური ვიზუალიზაციის პროცედურაში ჩართულ ყველა პირს შეუძლია რეალურ დროში აკონტროლოს საკუთარი დოზის სიდიდე და სიხშირე და გამოიყენოს ეს ინფორმაცია პრაქტიკის შესაცვლელად, თუკი ეს მოითხოვება, შედეგებიდან გამომდინარე.

მომავლის ტექნოლოგიამ შესაძლოა გააუქმოს პერსონალის მიერ დოზიმეტრების ან სხვა ამგვარი მოწყობილობების გამოყენების საჭიროება. შესაძლებელია, რომ რაიმე სივრცეში ადამიანთა ყოფნის მონიტორინგი რეალურ დროში განხორციელდეს და მათი პროფესიული ექსპოზიცია რეალურ დროში გამოითვალოს რენტგენული აღჭურვილობის რეალურ დროში ფუნქციონირებისა და მისი გამოყენების შესახებ ცოდნის გათვალისწინებით.

არსებობს პუბლიკაციების დიდი რაოდენობა, რომლებიც ასახავენ მიმდინარე პროფესიულ დოზებს სამედიცინო პერსონალისათვის, აგრეთვე, პროფესიულ დოზებს მოცემულ პროცედურაზე მოცემულ დაწესებულებაში რენტგენული გამოსახულების მიღებისას და სხვა ინფორმაციას, რომელთა მიხედვითაც აფასებენ სავარაუდო წლიურ დოზებს. გაერო არესკ, რომელიც წარმოადგენს ინფორმაციის ყოვლისმომცველ წყაროს პროფესიული დოზების შესახებ მთელ მსოფლიოში, თავის ერთ-ერთ წლიურ ანგარიშში ასკვნის, რომ როგორც ზოგადი, ისე – CT-რენტგენოგრაფების 80%-ზე მეტს არ მიუღია გაზომვადი დოზები, რაც ადასტურებს, რომ პერსონალისათვის, რომელიც დაცულია ჩაშენებული ფარებით, დოზები ძალიან დაბალია. ამ მოხსენებაში ისიცაა აღნიშნული, რომ მხოლოდ რამდენიმე ქვეყანას შეეძლო მიეწოდებინა მონაცემები, რომლებიც განასხვავებდნენ დიაგნოსტიკური რადიოლოგიასა და ინტერვენციული პროცედურების ტრადიციულ ტექნიკას ერთმანეთისაგან. ამ შეზღუდული მონაცემებიდან ჩვეულებრივი დიაგნოსტიკური რადიოლოგიისათვის მოხსენებული საშუალო წლიური ეფექტური დოზა იყო დაახლოებით 0.5 მზვ მონიტორინგის ქვეშ მყოფი პერსონალისათვის, ხოლო ინტერვენციული პროცედურებისათვის ის შეადგენდა

დაახლოებით 1.6 მზვ-ს. კერძოდ, კვლევამ 23 ქვეყნის მონაცემების გათვალისწინებით ინტერვენციული კარდიოლოგებისათვის აჩვენა საშუალო ეფექტური დოზა 0.7 მზვ.

თუკი შევაჯამებთ ყოველივე ზემოთ აღნიშნულს, დავასკვით, რომ რენტგენული გამოსახულებების მსოფლიო გამოყენების მუდმივი ზრდა ქმნის ახალ გამოწვევებს სამედიცინო პერსონალის პროფესიული რადიაციული დაცვისათვის. ტექნოლოგიების წინსვლამ და ტექნიკის განვითარებამ გამოიწვია ისეთი რენტგენული პროცედურების რაოდენობის ზრდა, სადაც სამედიცინო პერსონალმა უნდა შეინარჩუნოს მჭიდრო ფიზიკური კონტაქტი პაციენტთან რადიაციის ზემოქმედების პირობებში. მრავალი პროცედურის სირთულე ნიშნავს, რომ მნიშვნელოვანი პროფესიული დასხივების პოტენციური რისკი მაღალია და უნდა იქნას შესაბამისი ნაბიჯები გადადგმული, რათა დასხივების დოზა შემცირდეს მინიმუმამდე. აგრეთვე შეიძლება საჭირო გახდეს კონკრეტულად თვალის დაცვაზე დამატებითი ყურადღების გამახვილება, თუკი მომავალში განხორციელდება თვალის ბროლის დასხივების ზღვრული დასაშვები დოზის შემცირება. განათლება და თრეინინგი რადიაციულ დაცვაში როგორც კონკრეტულ სიტუაციებში, ასევე – გეგმიურ სამუშაო პროცედურებში, შესაბამისი დამცავი ხელსაწყოების ხელმისაწვდომობა და გამოყენება, მონიტორინგის ეფექტური პროგრამა – ყველა ეს აუცილებელი ელემენტია იმის უზრუნველსაყოფად, რომ სამედიცინო პერსონალი რენტგენული პროცედურებისათვის სათანადოდ იყოს მომზადებული.

სტატიაში [3] მოცემულია იმ თანამედროვე კვლევების სისტემური მიმოხილვა, რომლებიც ტარდება ჯანდაცვის სფეროს მუშაკების რადიაციული დაცვის მიმართულებით. ამგვარი კვლევები შემდეგ საკვანძო საკითხებს შეეხება:

- პერსონალის თეორიული ცოდნის დონე
- პერსონალის დამოკიდებულება პრობლემისადმი
- პერსონალის პრაქტიკული გამოცდილება
- პერსონალისათვის შემუშავებული კლინიკური რეკომენდაციები

მიმოხილვა გაკეთდა მონაცემთა სამი უმნიშვნელოვანესი საერთაშორისო ბაზაში – Web of Science, Pub Med და Scopus – არსებული სტატიების მიხედვით, რომლებიც აღნიშნულ თემატიკაზე 2000 – 2020 წლებში ინგლისურ ენაზე გამოქვეყნდა. სულ შესწავლილ იქნა 1848 გამოკვლევა. მათგან 41 კვლევა, რომლებიც ჩართული იყო დასკვნებში, ჯანდაცვის 11050 მუშაკზე ჩატარდა.

შედეგებმა აჩვენა, რომ კვლევათა უმეტესობაში მონაწილეთა ნახევარზე (50%-ზე) მეტს საშუალო განათლება ჰქონდა მიღებული. გარდა ამისა, მონაწილეთა 60% დადებით დამოკიდებულებას ავლენდა, თუმცა უმეტესწილად მათ რადიაციული დაცვის მხოლოდ საშუალო დონის პრაქტიკული გამოცდილება ჰქონდათ. სამედიცინო პერსონალის რადიაციული უსაფრთხოების სამივე ძირითადი კომპონენტის – ცოდნა, დამოკიდებულება და პრაქტიკა – დონის ამაღლებისაკენ მიმართული ყველაზე მნიშვნელოვან რეკომენდაციად ჯანდაცვისა და განათლების სფეროებში მოღვაწე პოლიტიკოსებისათვის ჩაითვალა რადიაციული დაცვის სტანდარტების ჩართვა შესაბამისი პროფილის სტუდენტთა მომზადების სასწავლო გეგმებში. აქ იგულისხმება არამხოლოდ საგანმანათლებლო პროგრამები, არამედ – კლინიკებში სტაჟირებაც.

სტატიაში [4] ერთი სასწავლო-კვლევითი საავადმყოფოს, კერძოდ, სტამბოლის საუნივერსიტეტო ჰოსპიტლის მაგალითზე შეფასებულია ჯანდაცვის სფეროს მუშაკების გათვითცნობიერებულობა რადიაციული უსაფრთხოების საკითხებში. ეს კვლევა ჩატარდა რადიაციული უსაფრთხოების შესახებ შესაბამისი პერსონალის ცოდნის, დამოკიდებულებისა და ქცევის დასადგენად.

ცხრილი 2. სტამბოლის საუნივერსიტეტო ჰოსპიტლის ჯანდაცვის პროფესიონალების გამოკითხვით დადგენილი კავშირი მათ წლიურ ფლუოროსკოპიულ ექსპოზიციასა და დემოგრაფიულ მონაცემებს შორის.

		სხივდებოდით ფლუოროსკოპიულად ბოლო ერთი წლის განმავლობაში?			
		დიახ		არა	
		რაოდენობა	%	რაოდენობა	%
ასაკი	18 – 30	40	87.0	6	13.0
	31 – 40	30	88.2	4	11.8
	> 40	19	90.5	2	9.5
სქესი	მდედრობითი	50	84.7	9	15.3
	მამრობითი	39	92.9	3	7.1
განათლება	საშუალო	12	85.7	2	14.3
	ექთანი	10	62.5	6	37.5
	ბაკალავრი	37	92.5	3	7.5
	მაგისტრი	30	96.8	1	3.2
სამუშაო წელი	0 – 5	38	80.9	9	19.1
	6 – 10	16	100.0	0	0.0
	11 – 15	16	88.9	2	11.1
	> 15	19	95.0	1	5.0
განყოფილება, სადაც მუშაობს	საოპერაციო	67	97.1	2	2.9
	ენდოსკოპია	5	100.0	0	0.0
	რადიოლოგია	17	63.0	10	37.0
რადიოლოგიაში მუშაობის წლები	0 – 5	60	85.7	10	14.3
	6 – 10	7	100	0	0.0
	> 11	22	91.7	2	8.3
თანამდებობა	ექიმი	28	96.6	1	3.4
	მომვლელი	46	97.9	1	2.1
	დამხმარე პერსონალი	9	64.3	5	35.7
	რადიოლოგიის ტექნიკოსი	6	54.5	5	45.5

20 პუნქტიან კითხვარს უპასუხა 101 პირმა, რომლებიც მუშაობენ რადიაციის წყაროსთან საოპერაციო, ენდოსკოპიის ანდა რადიოლოგიის განყოფილებებში. მიღებული მონაცემები გაანალიზდა სოციალურ მეცნიერებათა სტანდარტული სტატისტიკური პროგრამების პაკეტით. გამოკითხვის მონაწილეთა 58.4% იყო ქალი, ხოლო – 41.6% მამაკაცი. გამოკითხულთა 32.7%-მა განაცხადა, რომ მიღებული აქვს განათლება ფლუოროსკოპიაში, ხოლო 50.5%-მა განაცხადა, რომ აქვს დოზიმეტრიის განათლება. მათი 64.4% ფლუოროსკოპიულ გარემოში დღეში მინიმუმ ორჯერ იმყოფება. 78.2%-მა განაცხადა, რომ არ იყენებს სხივურ პროცედურებზე დაშვების ნებართვას. მონაწილეთა 2%-ს არაფერი სმენია იმ დამცავი აღჭურვილობის შესახებ, რომელიც უნდა იქნას გამოყენებული ფლუოროსკოპიის დროს. 74.3%-მა კი განაცხადა, რომ მათ არ ჰქონდათ საკმაო კვალიფიკაცია იმისათვის, რომ გაეზომათ რადიაციული დოზა.

გაკეთებულ დასკვნებში მითითებულია, რომ ჯანდაცვის პერსონალს, რომელიც მონაწილეობდა ამ კვლევაში და მუშაობდა მაიონებელი გამოსხივების წყაროებთან, არა აქვს სათანადო ცოდნა რადიაციული უსაფრთხოების შესახებ. ამიტომ ყველაზე მნიშვნელოვანი საკითხია ის, რომ იმ სამედიცინო დაწესებულებების მენეჯმენტმა, რომლებიც ახორციელებენ რადიაციულ პრაქტიკას, უნდა მიიღონ უსაფრთხოების ზომები პერსონალისა და / ან შესაბამისი ქვესტრუქტურის საჭირო თრეინინგებითა და აღჭურვილობით უზრუნველსაყოფად.

თვალსაჩინოებისათვის სტამბოლის საუნივერსიტეტო ჰოსპიტლის სამედიცინო პერსონალის რადიაციული უსაფრთხოების საკითხებში გათვითცნობიერებულობის კვლევის შედეგების ერთი ნაწილი მოყვანილია **ცხრილში 2**.

მონოგრაფიის [5] ერთ-ერთ თავში, რომელიც სპეციალურად საავადმყოფოებში რადიაციულ უსაფრთხოებას ეძღვნება, დეტალურადაა დახასიათებული ამ ფართო პრობლემის ყველა საკვანძო ასპექტი. ქვემოთ უბრალოდ ჩამოვთვლით განხილული თემების სათაურებს:

- ადამიანის მიერ შექმნილი ანუ ხელოვნური რადიაციული წყაროები: დიაგნოსტიკური და თერაპიული გამოყენებები
- სამედიცინო გამოსხივების წყაროები: დიაგნოსტიკური წყაროები, რენტგენის სტაციონარული და პორტატული ანუ მობილური აპარატები, კომპიუტერული ტომოგრაფიის სკანერები, რადიოაქტიური მასალა, ლაბორატორიული განყოფილებები, თერაპიული წყაროები, რადიაციული თერაპიის აპარატები, რადიოაქტიური წყაროები თერაპიული მიზნებისათვის, ბირთვული მედიცინის, რადიაციული თერაპიისა და დალუქული წყაროები
- გამა-, ბეტა- და პოზიტრონული გამოსხივებები, პოზიტრონული ფოტონი, რადიაციული დაშლა
- რადიაციული პირობები, რადიოაქტიურობის თვისებები და საზომი ერთეულები, ნახევარდაშლა, მაიონებელი გამოსხივების გამოყენების მიზნით უსაფრთხო საქმიანობის რეგლამენტის ღონისძიებები, რადიაციით ზღვრული პროფესიული ექსპოზიცია, გამოქვეყნების მოთხოვნები, ეტიკეტირების მოთხოვნები, რადიოაქტიური პაკეტის მიღების მოთხოვნები, პერსონალის მონიტორინგი, დოზიმეტრების ტიპები, აუცილებელი მონიტორინგი, რადიაციული დაცვის მთავარი პრინციპები, დაცვა რადიაციული ზემოქმედებისაგან, რადიაციული დაცვის მეთოდები: რადიაციისაგან დაცვა – დრო, მანძილი, ფარი, დაცვა რადიოაქტიური მასალებით დაბინძურებისაგან, რადიაციული ნარჩენებისაგან დაცვა
- შეზღუდული ტერიტორიები: რადიაციული ზონების ამოცნობა, რეკომენდებული ფარი რადიონუკლიდებისათვის – რადიაციის ტიპი, მიდგომა ტყვიის წინსაფრის გამოყენების, ინსპექტირებისა და ინვენტარიზაციისადმი, ფლუოროსკოპიული დანადგარები, საექთნო მოვლა, რადიაციული უსაფრთხოების ზოგადი ზომები პაციენტებთან დაკავშირებით, სატრანსპორტო სამსახური
- რადიაციული უსაფრთხოების ზოგადი ზომები, მოთხოვნები ტყვიის წინსაფრის გამოყენებისადმი და ფლუოროსკოპები, რადიაციული მუშაკების ფარისებრი დამცავები არასაჭირო ზემოქმედებისაგან, რადიოაქტიური მასალების პაკეტების მიღება, ბირთვული მედიცინის რადიოაქტიური პაკეტების დამუშავება, პროცედურა ცარიელი პაკეტებისათვის, ინერტული გაზების გამოყენება ბირთვულ მედიცინაში, ფლუოროსკოპიული დანადგარების სათანადო საოპერაციო პროცედურები, რეგულაციები რადიაციული ეფექტებისაგან დასაცავად

- ქრომოსომების რადიაციული დაზიანება – ექსპოზიციის სახეები, ნორმალური, პოტენციური, პროფესიული, სამედიცინო და საჯარო ექსპოზიციები, საზომი ერთეულები რადიაციული დაცვისათვის, ორგანოს დოზა, ეკვივალენტური და ეფექტური დოზები (ეკვივალენტი, ქსოვილის წონითი ფაქტორები, შეზღუდვები), კოლექტიური დოზა, საოპერაციო ერთეულები: გარემოს, მიმართულებისა და პერსონალური დოზის ეკვივალენტები, ფონური გამოსხივება, რადიაციული დაცვის ძირითადი პრინციპები, ზღვრული დოზები, მაქსიმალური დასაშვები დოზა, რადიაციული დაცვა დღეს, დასაბუთება ზღვრული დოზის მიღმა, ზღვრული დოზები, წლიური ზღვარი დასხივების მიმღებ ორგანიზაციებსა და ორგანოებზე, რადიაციული ობიექტების დიზაინი
- რადიაციის სახეები: პირველადი გამოსხივება, გაჟონვის გამოსხივების ბარიერები, უბნები, ზოგადი დიზაინის სახელმძღვანელო პრინციპები, ბრაქითერაპიის საშუალებები, რადიაციული ობიექტების დიზაინი: სამშენებლო მასალა, გამოყენების ფაქტორები, შევსების ფაქტორები, დიზაინის ეფექტური ზღვრები, კვირეული ზღვრული დოზები, ინსტალაციის დიზაინი, პირველადი ბარიერის სისქე, მეორადი ბარიერები, ნეიტრონული დაცვა
- რადიაციის გაზომვა და მონიტორინგი, მონიტორინგის სახეები, რადიაციული, პერსონალური და სამუშაო ადგილის მონიტორინგები, დოზის დონის მრიცხველები, დოზიმეტრი, გაზით შევსებული იონიზაციის კამერები, ნეიტრონული დეტექტორები, ინდივიდუალური მონიტორინგი: ფირის სამკერდე დოზიმეტრები, ჯიბის დოზიმეტრები, ბიოლოგიური დოზიმეტრია, რადიაციული ავარიები ანგიოგრამის პროცედურის გამო
- გაიდლაინები რენტგენოგრაფიით მომუშავე ჯანდაცვის პერსონალისათვის, ფლუოროსკოპიული პროცედურები, კომპიუტერული ტომოგრაფიის სისტემები, სავარაუდო დოზის გამოყენება სამედიცინო დიაგნოსტიკის პროცედურებში, რადიაციული უსაფრთხოება ბირთვული მედიცინის განყოფილებაში, ბირთვული მედიცინის განყოფილებაში გამოყენებული დამცავი, პოზიტრონული ემისიური ტომოგრაფია, გაიდლაინები I-131 თერაპიის პაციენტებთან მომუშავე მედიკოსების პერსონალისათვის, რადიაციული უსაფრთხოება ბრაქითერაპიისა და რადიოთერაპიის განყოფილებებში, რადიაციული დაცვა ბირთვულ მედიცინაში: რადიაციის მართვის გეგმა, პირი, რომელიც ამზადებს რადიაციულ განრიგს რადიოფარმაცევტული საშუალებებით, რადიონუკლიდური თერაპიის პროცედურები, სამკურნალო უბნებისა და პალატების დიზაინი, ლაბორატორიის დიზაინი და მშენებლობა, რადიონუკლიდური თერაპია, ემბრიონის / ნაყოფის დაცვა, ბირთვულ მედიცინაში გამოყენებული რადიაციული დოზების რისკი, ორსულობის არარსებობის დადასტურება, ორსული პაციენტი, გარე რადიაციული დოზა ახლო კონტაქტიდან, ბირთვული მედიცინის აღჭურვილობის ტესტირება, რადიაციული ინციდენტების ტიპები, გამოკვლევისა და მოხსენების მოთხოვნები, პროფესიული ექსპოზიციისაგან დაცვა, რადიოფარმაცევტული საშუალებების მომზადების მეთოდები, ტერიტორიების, აღჭურვილობისა და ტანსაცმლის მონიშვნა, პერსონალური მონიტორინგი, სამუშაო ადგილების მონიტორინგი, რადიაციული უსაფრთხოების პროცედურები რადიოფარმაციაში
- მაიონებელი გამოსხივება, რადიოაქტიური ნარჩენები, ავტორიზაცია, მინიმიზაცია, სეგრეგაცია და განადგურება, რადიაციული დაცვა და მონიშვნა, დალუქული რადიოაქტიური წყაროების შენახვა და უსაფრთხოდ მართვა,

რადიაციული მართვის გეგმა, რადიაციული უსაფრთხოების ინფორმაცია რადიოიოდური თერაპიის პაციენტებისათვის, უსაფრთხოების მნიშვნელოვანი ზომები სხვებისათვის რადიაციის შესამცირებლად, რადიოაქტიური მასალებით მკურნალობისას პაციენტის სიკვდილი, ბირთვული მედიცინის აღჭურვილობის მიღების ტესტირება, ბირთვული მედიცინის აღჭურვილობის ტესტირება, რადიოფარმაცევტული ხარისხის უზრუნველყოფა.

მიუხედავად თითოეული ამ საკითხის მნიშვნელოვნებისა, ყველა მათგანზე აქ დეტალურად ვერ შევჩერდებით. სტატიის თემიდან გამომდინარე, ქვემოთ მხოლოდ სამედიცინო დაწესებულებაში პერსონალის რადიაციული დაცვის საკითხებით შემოვიფარგლებით.

პერსონალის მონიტორინგის მიზანია ადრეული შეტყობინების მიწოდება, თუკი მუშაკის ექსპოზიცია არ არის ზღვრულს ქვემოთ და გონივრულად მიღწევადზე დაბალი. რადიაციის დოზის გასაზომად გამოიყენება ფირისებრი სამკერდე დოზიმეტრები. მათ იღებს პერსონალი იმ პაციენტებთან მუშაობისას, რომლებიც გადიან თერაპიულ ან დიაგნოსტიკურ პროცედურებს რადიონუკლიდებით ანდა რადიაციის წარმომქმნელი მოწყობილობებით (მაგალითად, წრფივი ამაჩქარებელი ან ფლუოროსკოპიის დანადგარი). თუკი ფირი განიცდის საკმაო ინტენსიურობის რადიაციის ზემოქმედებას, ის გაშავდება. გაშავების დონე ექსპოზიციასთან ერთად იზრდება. რადიაციის ზემოქმედების გასაზომად თითის ბეჭდების უმეტესობა თერმოლუმინესცენციურ დოზიმეტრებს (TLD) იყენებს. მათი მუშა კრისტალი ინახავს გამოსხივების ენერგიის ნაწილს და როდესაც ის თბება, დაგროვილი ენერგია ხილული სინათლის სახით გამოიყოფა. თერმოლუმინესცენციური დოზიმეტრები ასევე გამოიყენება მთელი სხეულის დოზიმეტრებად იმ ადგილებში, სადაც არის როგორც რადიონუკლიდები, ისე – რენტგენის სხივები (მაგალითად, ბირთვული მედიცინა). ორივე ტიპის, ფირისებრი სამკერდე და თერმოლუმინესცენციური, დოზიმეტრების მონაცემები მუშავდება კონტრაქტორის მიერ. შედეგები გროვდება ყოველი თვის პირველ დღეს. მონიტორების უმეტესობას შეუძლია წაიკითხოს 10 მბერ.

სახელმწიფო რეგულაციებით მონიტორინგი მოითხოვება ნებისმიერი მუშაკისათვის, რომლის დასხივებამაც შეიძლება გადააჭარბოს პროფესიული ზღვრის 10%-ს (500 მბერ), და ნებისმიერი თანამშრომლისათვის, რომელიც მუშაობს მაღალი ან ძალიან მაღალი რადიაციის ადგილებში. მონიტორინგის მრავალწლიანი ისტორია აჩვენებს, რომ SHC, LPCH და VAPAHCS ექსპოზიციათა უმეტესობა არ ვლინდება. სფერო, სადაც ადგილი აქვს ექსპოზიციას, ძირითადად მოიცავს ბირთვულ მედიცინასა და ინტერვენციულ რადიოლოგიას. თითოეულ ლოკაციას ეკისრება დოზიმეტრის მომსახურების შესაბამისი ღირებულება და დოზიმეტრის არადაბრუნებადი საფასური. სხეულის სამკერდე ნიშნები საყელოსთან უნდა იქნას დამაგრებული. თუკი გამოიყენება ტყვიის წინსაფრები, მაშინ სამკერდე ნიშანს წინსაფრის გარეთ (საყელოსთან) იმაგრებენ. თითის ბეჭდებს ატარებენ დაბინძურების თავიდან ასაცილებელი ხელთათმანების ქვეშ იმ ხელზე, რომელზეც მოსალოდნელია ყველაზე მაღალი ექსპოზიცია. თუ პერსონალი უზრუნველყოფილია ორივე ტიპის დოზიმეტრით, მაშინ ორივე ერთად მხოლოდ რადიაციასთან მუშაობისას უნდა ატაროს.

თითოეული რადიაციული მუშაკის ექსპოზიცია საჭიროებს რუტინულ მონიტორინგს და კუმულაციური რადიაციის დოზის ჩაწერას. ამის მიზანია:

- მუშაკის მიერ მიღებული დოზის დადგენა რეტროსპექტულად
- სამუშაო ადგილზე რადიაციული კონტროლის ეფექტურობის შემოწმება

- სამუშაო ადგილზე ცვლილებების გამოვლენა
- სამუშაო ადგილის სტატიკური მონიტორინგის შემოწმება ან შევსება
- დოზის შემამცირებელი სამუშაო პრაქტიკის დადგენა
- შემთხვევითი ზემოქმედების შესახებ ინფორმაციის მიწოდება

პერსონალური დოზიმეტრიის ძირითადი პრინციპები შემდეგია. პერსონალური დოზიმეტრები შექმნილია დოზის გასაზომად რბილ ქსოვილში განსაზღვრულ სიღრმეზე, სხეულის განსაზღვრული წერტილის ქვემოთ. პერსონალური დოზის ეკვივალენტი $Hp(d)$, ჩვეულებრივ, განისაზღვრება ორ სიღრმეზე: 0.07 მმ – კანისა და 10 მმ – სისხლწარმომქმნელი ორგანოების დოზების გამოსანგარიშებლად, შესაბამისად. პერსონალური დოზიმეტრია უპირველეს ყოვლისა ესაჭიროება პერსონალს, რომელიც რეგულარულად მუშაობს კონტროლირებად ადგილებში, რადგანაც მათი პერსონალური დოზები რეგულარულად უნდა შეფასდეს. ისინი, ვინც სრულ განაკვეთზე მუშაობს ზედამხედველობის ქვეშ და / ან ხანდახან კონტროლირებად ადგილებში, ასევე უნდა ჩაითვალოს ინდივიდუალური მონიტორინგის პოტენციურ კანდიდატებად.

ბირთვული მედიცინის ცენტრების პროფესიონალი პერსონალის რადიაციულ მონიტორინგს უზრუნველყოფს შესაბამისი პასუხისმგებელი პირი. ეს ეხება ყველა თანამშრომელს, რომელიც, სავარაუდოდ, მიიღებს 1 მზვ-ზე მეტ წლიურ ეფექტურ დოზას. ისინი შეადგენენ ამ ცენტრების პროფესიონალი პერსონალის უმრავლესობას. პასუხისმგებელი პირი, სამუშაო ადგილის ან სამუშაო პრაქტიკის დაგეგმვისა და დიზაინის დროს ითვალისწინებს ყველა ექსპოზიციის უზრუნველყოფას ზღვრული ინდივიდუალური დოზის ქვემოთ. დადგენილი სტანდარტების მიხედვით უნდა იყოს აღიარებული, რომ ეს ზღვრული დოზები წარმოადგენენ საზღვარს დაუშვებელ და ტოლერანტულ დოზებს შორის. პასუხისმგებელი პირი, ეკონომიკური და სოციალური ფაქტორების გათვალისწინებით, უნდა შეეცადოს შეინარჩუნოს ინდივიდუალური დოზები გონივრულად მიღწევად დაბალ დონეზე.

პერსონალს, რომელიც ექვემდებარება მაიონებელი გამოსხივების ზემოქმედებას, სატარებლად უნდა გადაეცეს პერსონალური რადიაციული მონიტორინგის სამსახურის მიერ დამტკიცებული ნიმუშის პერსონალური რადიაციული მონიტორინგის მოწყობილობა. პირდაპირ წასაკითხი მოწყობილობა, როგორიცაა ელექტრონული დოზიმეტრი, ასევე შეიძლება გამოყენებულ იქნას მიღებული დოზის დაუყოვნებლად დასადგენად. დროის ხანგრძლივობა, რომლისთვისაც დოზიმეტრი გამოიყონა, დამოკიდებული იქნება იმ დოზებზე, რომლებიც, სავარაუდოდ, მიიღება ტარების პერიოდში. ტექნოლოგიებსა და რადიოქიმიკოსებს, რომლებიც რეგულარულად ამუშავებენ რადიოფარმაცევტულ საშუალებებს, შეიძლება დასჭირდეთ ყოველთვიური მონიტორინგი. ხოლო სამთვინი ციკლი შეიძლება იყოს უფრო შესაფერისი ისეთი პერსონალისათვის, როგორიცაა, მაგალითად, ბირთვული მედიცინის ფიზიკოსები, რომელიც ნაკლებად ხშირად ექვემდებარებიან ექსპოზიციას. ორსული პერსონალის მონიტორინგი უნდა მოხდეს ყოველთვიურად. მათ ასევე შეუძლიათ ატარონ პირდაპირი წაკითხვის დოზიმეტრები, რომლებიც საშუალებას მისცემს ყოველდღიურად აკონტროლონ სხეულის მიერ მიღებული დოზა, რათა დარწმუნდნენ, რომ ნაყოფისათვის დოზა, სავარაუდოდ, არ აღემატება 1 მზვ-ს. კიდურების დოზების რუტინული მონიტორინგი მიზანშეწონილია, თუ ხელებზე (კიდურებზე) დოზები, სავარაუდოდ, აღემატება შესაბამისი ზღვრული დოზის მეთედს. პირებმა, რომლებიც ამზადებენ, აწოდებენ ანდა გადაადგილებენ რადიაციულ რადიოფარმაცევტულ

საშუალებებს, უნდა ატარონ თერმოლუმინესცენტური დოზიმეტრი დასაცავ თითზე, როგორც ბეჭედი. მიუხედავად იმისა, რომ მაქსიმალური დოზა, ჩვეულებრივ, მიიღება თითის წვერზე, დასაშვებია დოზიმეტრის ტარება თითის ძირში, რადგანაც მონიტორის თითის წვერზე ტარება უარყოფითად იმოქმედებს ტაქტილურ ფუნქციებზე.

სამუშაო ადგილების მონიტორინგი ნიშნავს, რომ ლაბორატორიები და სხვა უბნები, სადაც კი გამოიყენება დალუქული რადიოაქტიური მასალები, უნდა იყოს სისტემატური მონიტორინგის ქვეშ როგორც გარე რადიაციის, ასევე – ზედაპირის დაბინძურების მიმართ კვლევითი მრიცხველის გამოყენებით. თითოეული კონტროლირებადი ტერიტორიისათვის უნდა არსებობდეს ტერიტორიის შესაბამისი მონიტორინგის რეგულარული გრაფიკი. გამოკითხვის მაჩვენებლები უნდა შეესაბამებოდეს პერსონალის მოვალეობებს და რეგულარულად მოწმდებოდეს. დაბინძურება უნდა შემცირდეს, რამდენადაც ეს შესაძლებელია. რეგულარულად უნდა ჩატარდეს სამუშაო ზონებში ზედაპირის გაწმენდის ტესტირება.

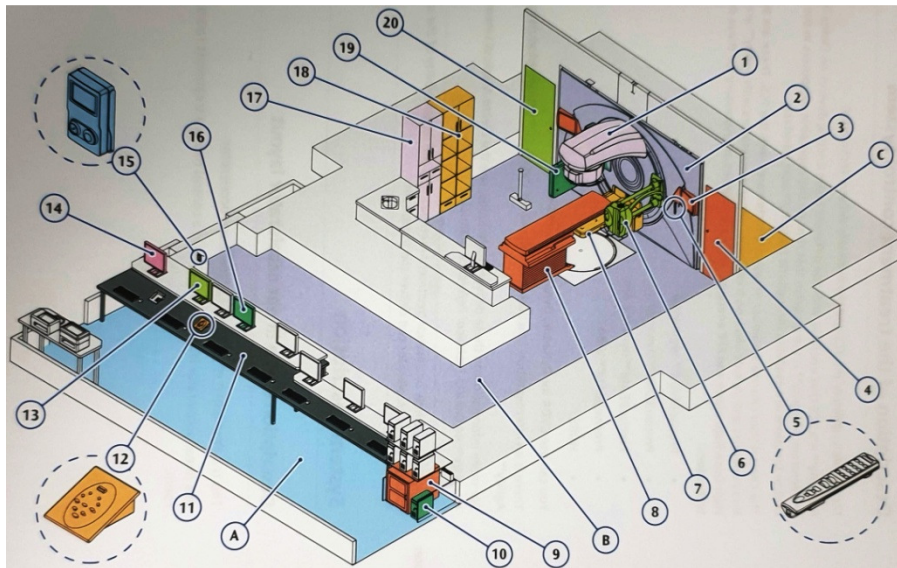
3. რადიაციული დიაგნოსტიკა და თერაპია კლინიკებში

ამ განყოფილებაში ზოგადაა აღწერილი რადიაციული დიაგნოსტიკისა და რადიაციული თერაპიის ზოგიერთი ტიპური პროცედურა, რომლებიც რუტინულად ტარდება რადიაციული მედიცინის კლინიკებში და კერძოდ, სხივური და ბირთვული მედიცინის ცენტრში (თბილისი, საქართველო), რომლის სამედიცინო პერსონალის რადიაციული უსაფრთხოების მონიტორინგის შედეგებიც არის გაანალიზებული წინამდებარე სტატიის ორიგინალურ ნაწილში. ცალკე ყურადღებას დავუთმობთ სამედიცინო ანუ ჯანდაცვის ფიზიკოსების იმ მნიშვნელოვან როლს, რომელსაც ისინი ასრულებენ რადიაციული სამედიცინო პროცედურების განხორციელებაში და, აგრეთვე, ამ საჭირო პროფესიის სპეციალისტების მომზადების საკითხებს.

რადიოთერაპიის პროცედურების პრაქტიკული დაგეგმვის საკვანძო საკითხები დეტალურადაა აღწერილი წიგნში [6]. რაც შეეხება რადიაციული დაცვისა და რადიაციის წყაროების უსაფრთხოების საერთაშორისო ბაზისურ სტანდარტებს, ისინი აეს-ის მიერ არის ჩამოყალიბებული [7]. ხოლო საქართველოში მაიონებული გამოსხივების წყაროებთან მოპყრობისადმი რადიაციული უსაფრთხოების ნორმები და ძირითადი მოთხოვნები მთავრობის მიერ დამტკიცებული შესაბამისი ტექნიკური რეგლამენტებით რეგულირდება [8 – 10].

როგორც ცნობილია, ცოცხალი ორგანიზმის ნებისმიერი უჯრედი შეიძლება დაზიანდეს ან განადგურდეს რადიაციით, მაგრამ სიმსივნური უჯრედები უფრო სენსიტიურები არიან რადიაციის მიმართ, ვიდრე ნორმალური უჯრედები. სხივური თერაპია სწორედ ამ გარემოებას იყენებს, რომ დააზიანოს ან სულაც გაანადგუროს სიმსივნური უჯრედები.

რადიოთერაპიის ნებისმიერი კურსის წარმატებულობა დამოკიდებულია სხივური ამაჩქარებლის (Linac) შესაძლებლობაზე ისე დაასხივოს სიმსივნური უჯრედები, რომ იმავდროულად მინიმალური ზიანი მიაღწეს ჯანმრთელ ქსოვილს. სხივური ამაჩქარებელი (სურათი 1) შემდეგნაირად ფუნქციონირებს. მაგნეტრონის მიერ წარმოიქმნება რადიოსიხშირული ელექტრომაგნიტური ტალღა, რომელიც მიმართულია ტალღსატარისაკენ. ეს ტალღა აჩქარებს ელექტრონებს თითქმის სინათლის სიჩქარემდე. სხივი წარმოიქმნება აჩქარებული ელექტრონების ვოლფრამის სამიზნესთან შეჯახებისას. მაგნეტრონით იმართება ტალღის სიხშირე და სიმძლავრე.



სურათი 1. წრფივი ამაჩქარებლის ტიპური კონფიგურაცია.

- (A) მართვის ოთახი, (B) სამკურნალო ოთახი, (C) ტექნიკური ოთახი,
 (1) განტრი, (2) ფასკალური საფარი, (3) სამკურნალო ოთახის მონიტორი,
 (4) კარი 2B, (5) მართვის მოდული, (6) kV წყარო, (7) MV დეტექტორი,
 (8) სამკურნალო მაგიდა, (9) უწყვეტი დენის წყარო, (10) გამოსახულების
 კომპიუტერი, (11) მართვის პულტი, (12) აპარატის მართვის მოდული,
 (13) რადიაციული თერაპიის სამუშაო ადგილი, (14) MOSAIQ სამუშაო
 ადგილი, (15) BMDM, (16) გამოსახულების სამუშაო ადგილი,
 (17) kV კოლიმატორ-კასეტების საკიდები, (18) ელექტრონული
 აპლიკატორის შესანახი თარო, (19) kV დეტექტორი და (20) კარი 2A.

ელექტრონები თავდაპირველად წარმოიქმნებიან ვოლფრამის კათოდის გახურებით და შემდეგ მიემართებიან ტალღსატარისაკენ. ელექტრონების რაოდენობა იმაზეა დამოკიდებული, თუ რა ტემპერატურამდე არის გახურებული კათოდი. ვინაიდან ელექტრონები სამიზნის მიმართულებით ტალღსატარში ჩქარდებიან, აქ შექმნილია ვაკუუმი, რათა თავიდან იქნას აცილებული ელექტრონების შეჯახება სხვა ნაწილაკებთან. ტალღსატარის ირგვლივ განლაგებულია მაგნიტები, რომლებიც მიმართულებას აძლევენ ელექტრონებს. მთელი ეს სისტემა წყლის გამდინარე ნაკადით გრილდება. ტალღსატარის მომდევნო ნაწილში განლაგებულია სამი მაგნიტი, რომლებიც არამხოლოდ მიმართულებას აძლევენ ელექტრონებს, არამედ აფოკუსირებენ კიდევ მათ წერტილში 1 მმ-ის სიზუსტით. როდესაც ელექტრონები ეჯახებიან ვოლფრამის სამიზნეს, წარმოიქმნება ფოტონები, რომლებიც კოლიმატორის მიერ მიემართებიან პაციენტისაკენ. კოლიმატორში მოთავსებულია („გამაბრტყელებელი“) ფილტრი, რომელიც უპირატესად შთანთქავს ფოტონებს სხივის ცენტრში, რათა მოხდეს სხივის შიგნით ყველა წერტილში ფოტონების კონცენტრაციის გათანაბრება. ფოტონები გაივლიან იონურ მთვლეელში, სადაც ხდება დოზის გაზომვა. დოზა დასხივების პროცესში მუდმივად იზომება ორი დამოუკიდებელი იონური მთვლელის მიერ. სხივისათვის სასურველი ფორმის მისაცემად გამოიყენება „მრავალფეროვანი კოლიმატორი“. მასში მოთავსებულია ვოლფრამის ფირფიტები, რომლებიც მოძრაობენ ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად, რათა გარკვეული ფორმა მისცენ სხივს.

რაც შეეხება ბირთვულ მედიცინას, განვიხილოთ ამ მიმართულებით ჩატარებული ზოგიერთი თანამედროვე კვლევის შედეგები. ბირთვული მედიცინის თანამედროვე მდგომარეობა და მისი განვითარების გლობალური მიმართულებები აღწერილია მოხსენებაში [11]. აღნიშნულია, რომ ბირთვული მედიცინა არის სამედიცინო რადიოლოგიის ერთერთი აქტიურად განვითარებადი და პერსპექტიული სფერო. ბირთვული მედიცინა აერთიანებს გამოსახულების მიღებისა და მკურნალობის მეთოდებს სპეციალური ტიპის ფარმაცევტული საშუალებების გამოყენებით, რომელთაც რადიოფარმაცევტულ საშუალებებს (RPh) უწოდებენ.

ბირთვულმა მედიცინამ განვითარების რამდენიმე ეტაპი გაიარა. პირველ პერიოდში (1950 – 1980 წლები) ჩატარდა ორგანოთა ვიზუალიზაცია და პალიატიური ანესთეზია (გამონაკლისი იყო ფარისებრი ჯირკვლის დაავადება). მეორე პერიოდში (1980 – 1990 წლები) ამას დაემატა ორგანოს ფუნქციის ვიზუალიზაციის საშუალება. მესამე პერიოდი კი (რომელიც დღემდე გრძელდება) ხასიათდება უჯრედული მეტაბოლიზმის ვიზუალიზაციითა და დამიზნებითი მოლეკულური თერაპიით.

ფაქტია, რომ 2000 წლიდან კონკურენტული გამოსახულების მიღების (CT და MRI) და მკურნალობის (ChT, HT, IT და RT) მეთოდების მზარდმა რაოდენობამ და შესაძლებლობებმა შექმნა პირობები ბირთვული მედიცინის უნიკალური შესაძლებლობების რეალიზაციისათვის. სწორედ ბიომოლეკულურ ტექნოლოგიებთან ინტეგრაციისა და ტექნიკისა და პროგრამული უზრუნველყოფის შესაძლებლობების კომბინირებით გარდაიქმნა ბირთვული მედიცინა. შემუშავებულია რადიონუკლიდებით მარკირებული ახალი ბიომოლეკულური ვექტორი (BMV), რომლის მოქმედებაც მიმართულია რეცეპტორებზე, ანტიგენებზე, ტრანსპორტის არხებზე და უჯრედის მემბრანის სხვა ელემენტებზე, რომლებიც დაკავშირებულია „ინტერესის ზონასთან“ (როგორიცაა მონოკლონური ანტისხეულები, პეპტიდები, მათი ფრაგმენტები და სხვა).

ბირთვული მედიცინის ყველაზე პერსპექტიულ კლინიკურ სფეროებად ითვლება ანთების კერებისა და ნეირორეცეპტორების ვიზუალიზაცია, მაგრამ განსაკუთრებით, ავთვისებიანი დაავადებების ვიზუალიზაცია და მკურნალობა.

დამიზნებითი ანტისიმსივნური მკურნალობის ახალი და ძვირადღირებული შესაძლებლობების გაჩენამ მოითხოვა იმ პაციენტების იდენტიფიცირების მეთოდების განსაზღვრა, რომლებისთვისაც ამგვარი მკურნალობა უფრო ეფექტური იქნება. ავთვისებიანი დაავადებების ვიზუალიზაციის თანამედროვე რადიოფარმაცევტული საშუალებები გვაწვდიან აუცილებელ ინფორმაციას დიფერენციალური დიაგნოზის, სტადიის, პერსონალიზებული მკურნალობის გეგმის შემუშავების, პროგნოზის, სიმსივნის საწინააღმდეგო მკურნალობის ეფექტურობის შეფასების, რეციდივებისა და მეტასტაზების იდენტიფიცირებისათვის.

შემუშავებულია და იხვეწება სხვადასხვა რადიოფარმაცევტული საშუალება, როგორიცაა სიმსივნური კერების მაღალსპეციფიკური და ძალზე მგრძნობიარე დეტექტორები, უჯრედების მეტაბოლიზმის ინდიკატორები, პროლიფერაცია, აპოპტოზი, ჰიპოქსია, სისხლძარღვთა ენდოთელური ზრდის ფაქტორები (VEGF), სიმსივნური უჯრედების მემბრანების ტროპიკული შეღწევადი სიმსივნური უჯრედები და სხვა. ბოლო 15 – 20 წლის განმავლობაში, აღორძინდა ინტერესი რადიოფარმაცევტული მკურნალობის მიმართაც. დაინერგა ახალი კონცეფციები, როგორიცაა PRRT და TRLT. სტიმულის მიმცემი იყო ისეთი ახალი კლინიკური ჩვენებების გაჩენა, როგორიცაა ალიმფომები, ნეიროენდოკრინული სიმსივნეები,

პროსტატის კიბოს მეტასტაზური ფორმები. შემუშავებულია ეფექტური გზები თერაპიული აგენტის მიზანმიმართული მიწოდების უზრუნველსაყოფად.

ასევე, თანამედროვე ბირთვული მედიცინის ტენდენციები მჭიდრო კავშირშია თერანოსტიკასთან. ეს არის რადიონუკლიდების შესაძლებლობების ინტეგრაცია სხვადასხვა ტიპის გამოსხივებასთან ინდივიდუალიზაციისა და მკურნალობის დაგეგმვისათვის. გამოიყენება რადიოფარმაცევტული საშუალებები, რომლებიც მიიღება იმავე ბიომოლეკულური ვექტორის ბაზაზე და ეტიკეტირებულია სხვადასხვა რადიონუკლიდებით (ჯერ გამოსახულების მისაღებად, შემდეგ კი სამკურნალოდ). დაინერგა თერანოსტიკის წყვილების კონცეფცია. პერსპექტიული მიმართულებაა რადიოფარმაცევტული საშუალებების თერანოსტიკული წყვილების შექმნა, რომელიც დაფუძნებულია ისეთ ვექტორებზე, როგორიცაა ანტისხეულები და მათი ფრაგმენტები სიმსივნურ ასოცირებულ ანტიგენებზე და არა – იმუნოგლობულინის ბუნების მოლეკულებზე (DARP).

დღეს შემუშავებულია და ვითარდება პოზიტრონის ემისიური ტომოგრაფიის რადიოფარმაცევტული საშუალებების ფართო სპექტრი (PETRPh). პოზიტრონის ემისიური ტომოგრაფიის რადიოფარმაცევტული საშუალებები, ადაპტირებული ტექნეციუმის ^{99m}Tc იზოტოპისათვის, უფრო ხელმისაწვდომია SPECT გამოსახულების მისაღებად. თერაპიული რადიოფარმაცევტული საშუალებების ახალი კლასი არაოპერირებადი და განუკურნადი პაციენტებისათვის უკვე რუტინულ კლინიკურ პრაქტიკაშია. ჰიბრიდული რადიოფარმაცევტული საშუალებები აქტიურად ინერგება RChT-ის, RIT-ისა და RHT-ისათვის. თუმცა, ბიოსამედიცინო ტექნოლოგიების გარღვევისებრმა განვითარებამ და ბირთვულ მედიცინასთან მათმა ინტეგრაციამ არამხოლოდ რადიოფარმაცევტული საშუალებების ფუნქციონირება შეცვალა.

თანამედროვე რადიოფარმაცევტული საშუალებები ქიმიურად რთულად ტრანსპორტირებადი სტრუქტურაა. ათწლეულების განმავლობაში მარტივი რადიოფარმაცევტული საშუალებების მომზადება ხდებოდა კლინიკების ბირთვული მედიცინის განყოფილებებში (ამ პროცესის აღსანიშნად აესს-მა შემოიღო განმარტება: „ჰოსპიტალური რადიოფარმაცია“). რადიოფარმაცევტული საშუალებების ახალმა სახემ არამხოლოდ შესაძლებელი გახადა მნიშვნელოვანი კლინიკური პრობლემების გადაჭრა, არამედ ახალი გამოწვევებიც გააჩინა. დღეს აუცილებელია კლინიკური და სამრეწველო ინფრასტრუქტურის იმგვარი მოდერნიზება, რაც მოითხოვს კლინიკებისაგან მნიშვნელოვან ფინანსურ, საკადრო და სხვა რესურსებს. ამკარაა, რომ ზოგადად ჯანდაცვის პრობლემის ოპტიმალური გადაწყვეტა რადიოფარმაცევტული საშუალებების მზა ფორმების წარმოებაა.

როგორც ვხედავთ, დღეს ბირთვული მედიცინის ორმა ძირითადმა მიმართულებამ – დამიზნება და თერანოსტიკა – გამოკვეთა ახალი ტენდენცია, კერძოდ, გადასვლა მრავალრიცხოვანი ჰოსპიტალური რადიოფარმაციებიდან ცენტრალურ რადიოფარმაციაზე. ცენტრალური რადიოფარმაცია არის რადიოაქტიური ფარმაცევტული ნივთიერებებისა და რადიოფარმაცევტულ საშუალებათა კარგად აღჭურვილი, GMP-სერტიფიცირებული, წარმოება. ეს საშუალებას იძლევა, რომ მოხდეს: – ინფრასტრუქტურის და, შესაბამისად, რადიოფარმაცევტული საშუალებების ღირებულების ოპტიმიზაცია რადიოფარმაცევტული საშუალებების წარმოებისა და ხარისხის კონტროლის ერთიანი სისტემებისა და პროგრამების, რადიაციული დაცვისა და უსაფრთხოების, დოკუმენტების ერთიანი ნაკადისა და ლოჯისტიკის შექმნით.

- რადიოფარმაციის მოდერნიზაციის, მშენებლობის, ლიცენზირებისა და ფუნქციონირების ფინანსური ტვირთის შემსუბუქება კლინიკებისათვის.
- თანამედროვე რადიოფარმაცევტული საშუალებების ხელმისაწვდომობის უზრუნველყოფა დამიზნებით მოლეკულური გამოსახულებისა და მკურნალობისათვის
- ახალი რადიოფარმაცევტული საშუალებების შემუშავების, რეგისტრაციის, დანერგვისა და კლინიკურ გამოცდის ხელშეწყობა ონკოლოგიური და სხვა სოციალურად მნიშვნელოვანი დაავადებებისათვის.

ამრიგად, თანამედროვე ბირთვული მედიცინის შესაძლებლობების ეფექტურად გამოყენება მოითხოვს შემდეგ პირობებს: ყველა თვალსაზრისით ხელმისაწვდომი რადიოფარმაცევტული საშუალებები, კლინიკური ჰიბრიდული SPECT- და PET-ვიზუალიზაციის სისტემები CT და MRI ტექნოლოგიებთან ერთად, პროგრამული გადაწყვეტილებები ინფორმაციის დამუშავებისა და შენახვის შესახებ, სპეციალიზებული საწარმოო ინფრასტრუქტურა და მულტიდისციპლინური პერსონალი. შესაბამისად საჭიროა ფუნდამენტური ცვლილება ბირთვული მედიცინის ობიექტების შექმნისადმი მიდგომაში, რადიოფარმაცევტული წარმოების ცენტრალიზაციის თვალსაზრისით.

ზოგადად მედიცინაში ნანოტექნოლოგიის გამოყენების გლობალური ტენდენციები მოხსენებაში [12] იქნა განხილული. როგორც ცნობილია, კომპეტენტური სამედიცინო დახმარება დამოკიდებულია კომპეტენტურად დიაგნოზირების სისწრაფეზე. თანამედროვე მედიცინაში კი დაავადებათა დიაგნოსტიკა მნიშვნელოვანწილად ეფუძნება ნანოტექნოლოგიის სფეროში მიღწევებს. ნანოტექნოლოგიის, ინფორმატიკისა და ნანოინჟინერიის საშუალებით შესაძლებელია დაავადებების დიაგნოსტიკა მოლეკულურ სისტემებზე დაკვირვების გზით, რაც საშუალებას იძლევა მოიხსნას დიაგნოსტიკური ტექნიკის თანამედროვე შეზღუდვები. ნანოტექნოლოგიური და საინფორმაციო მიდგომების დანერგვა სამედიცინო პრაქტიკაში, ისევე როგორც – დიაგნოსტიკაში აჩვენებს შემდეგ შედეგებს. ის განსაზღვრავს ჩატარებული ანალიზების სისწრაფესა და სიზუსტეს და იძლევა ისეთი დაავადებების ადრეულ დიაგნოზს, როგორიცაა კიბო, ადამიანის ენდოკრინული და გულ-სისხლძარღვთა სისტემების დაავადებები, ასევე – ვირუსული და ბაქტერიული ინფექციების გამოვლენის საშუალებას. იძლევა ყოვლისმომცველ კომპლექსურ გამოკვლევას, დიაგნოსტიკურ კრიტერიუმებს, რომელიც განსაზღვრავს ინდივიდუალურ მიდგომას დაავადებათა მკურნალობისა და პრევენციის მიმართ.

ამჟამად ბევრი სამუშაო მიმდინარეობს ონკოლოგიური დაავადებების, ვირუსული ჰეპატიტის, HIV ინფექციების სამედიცინო ნანოდიაგნოსტიკის მეთოდების პრაქტიკაში დანერგვაზე, ბაქტერიული პათოგენების წამლისადმი წინააღმდეგობის შეფასების მეთოდების, მედიკამენტების ინდივიდუალური ტოლერანტობის შეფასების ფარმაკოლოგიური მონიტორინგის სისტემის შესახებ. გლობალური გაყიდვების მოცულობაში ინფორმაციული ტექნოლოგიების გამოყენებით მედიკამენტების მიზანმიმართული მიწოდების სისტემების გამოყენება ფარმაცევტული ბაზრის მთლიანი მოცულობის 20%-ია.

ნანოტექნოლოგიისა და საინფორმაციო ბაზების გამოყენება ხელოვნური ორგანოებისა და ქსოვილების ზრდისათვის სპეციალური თვისებების მქონე ნანომასალების შექმნის საშუალებას იძლევა, რაც ამ პროცესებს გენეტიკურ დონეზე ნერგავს. სამედიცინო საზოგადოებას უკვე აქვს ნანოტექნოლოგიის დახმარებით ხრტილოვანი ქსოვილის ზრდის, ასევე ნაწილობრივი და სრული აღდგენის

გამოცდილება. ვითარდება ნანოტექნოლოგიისა და ნანომასალების გამოყენება კბილის მინანქრის მექანიკური თვისებების აღსადგენად, აგრეთვე, ანტიბაქტერიული თვისებების მქონე ნანოკომპოზიტების შექმნის მიზნით.

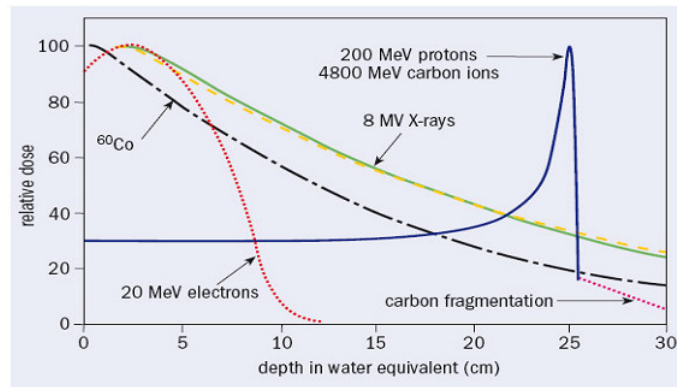
ნანოტექნოლოგიისა და საინფორმაციო ტექნოლოგიების წარმოების ყველაზე მნიშვნელოვანი ამოცანა იქნება ისეთი სამედიცინო აღჭურვილობისა და მასალების შემუშავება, როგორიცაა „გონიერი იმპლანტები“, ხელოვნური გენები და კანი, ადამიანებში იმპლანტირებული ელექტრონული მოწყობილობების ინტერფეისები, ასევე ელექტრონული აღჭურვილობა, რომელიც ხელს უწყობს ინდივიდის მნიშვნელოვან სასიცოცხლო პროცესებს.

კონკრეტულად ბირთვული მედიცინის სფეროში ამგვარი გლობალური ტენდენციები დახასიათებულია მოხსენებაში [13]. ამ კვლევის მიზანი იყო ბირთვულ მედიცინაში გამოყენებული სამეცნიერო მიდგომების, თანამედროვე და პერსპექტიული რადიაციული ტექნოლოგიების განხილვა. აღნიშნულია, რომ ელემენტარულ ნაწილაკთა ფიზიკაში ფუნდამენტური კვლევის შედეგები ფართოდ გამოიყენება ბირთვულ მედიცინაში, რომელიც ამჟამად ვითარდება სამი ძირითად მიმართულებით: სხივური თერაპია – სიმსივნის პირდაპირი დასხივება, რადიონუკლიდური დიაგნოსტიკა – პოზიტრონის ემისიური ტომოგრაფია (PET) და რადიონუკლიდური თერაპია – სიმსივნეში რადიოაქტიური იზოტოპების შეყვანა.

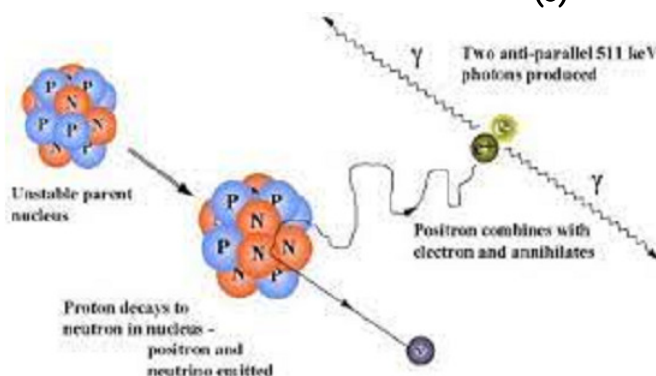
სხივური თერაპიისათვის გამოიყენება შემდეგი მეთოდები და აღჭურვილობა: ახლოფოკუსირებული რენტგენოთერაპია ($U = 10 - 200$ კვ) რენტგენოთერაპიის განყოფილებით; ალფა-, ბეტა- და გამა-თერაპიები მაიონებელი გამოსხივების ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{182}Ta , ^{192}Ir , ^{198}Au , ^{131}I და ^{32}P იზოტოპური წყაროებიდან (IRS) ობიექტებზე დასხივებით; ელექტრონული თერაპია წრფივ სამედიცინო ამაჩქარებლებზე; ელექტრონების (ენერგიით $E_e = 1 - 45$ მეგაევ) წარმომქმნელი ბეტატრონები და მიკროტრონები, რომლებიც ქსოვილებში ქმნიან სიმსივნის დნმ-ზე ზემოქმედ მეორად ელექტრონებს ენერგიით 1-დან 20 ევ-მდე; ნეიტრონოთერაპია ბირთვული რეაქტორებისა და ნეიტრონული გენერატორების თერაპიული არხების ნეიტრონული სხივებით ($E = 6 - 15$ მეგაევ) ან IRS ^{252}Cf -ით; π -მეზონის თერაპია სპეციალურ დანადგარებზე; ბრემსტრაჰლუნგის თერაპია სამედიცინო წრფივ ამაჩქარებლებზე ელექტრონების ($E_e = 5 - 45$ მეგაევ) დიდი ატომური ნომრის მქონე მასალისაგან დამზადებულ კონვერტორთან ურთიერთქმედების შედეგად მეორადი ელექტრონების წარმოქმნით, რომლებიც გავლენას ახდენენ სიმსივნეზე; ნეიტრონების ჩაჭერის თერაპია თერმული ან ზომიერი ენერგიის ($E_n \leq 200$ კევ) რეაქტორული ნეიტრონებით სიმსივნეში შეყვანილი ისეთი სტაბილური იზოტოპების (^{10}B , ^{155}Gd და ^{157}Gd) დასხივებით, რომლებიც ჩაჭერილი ნეიტრონების გავლენით განიცდიან რადიოაქტიურ დაშლას α -ნაწილაკების გამოსხივებით; პროტონული თერაპია სინქროტრაზონისა და სინქროტრონზე მაღალ ენერგიებამდე ($E_p = 30 - 1000$ მეგაევ) აჩქარებული პროტონებით და ა.შ.

მაგნიტურ-რეზონანსული ტომოგრაფია (მრტ) სკანირების ტექნიკაა, რომელიც დაფუძნებულია ბირთვულ მაგნიტურ რეზონანსზე. მრტ-ის დროს მიიღება მაგნიტურ-რეზონანსული სიგნალი მოძრავი წყალბადის ატომების ბირთვებიდან (პროტონები), რის საფუძველზეც სხვადასხვა რეჟიმში გენერირდება კომპიუტერული გამოსახულება.

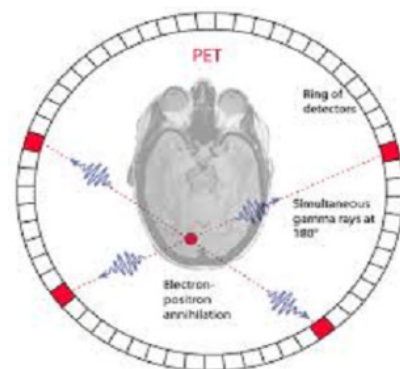
სტერეოტაქსიური რადიოქირურგიის პროცედურისათვის გამოიყენება სიმსივნური ქსოვილების სხვადასხვა სახის დასხივება. მაგრამ ხშირად ხდება სიმსივნის ირგვლივ არსებული ორგანოების ჯანსაღი ქსოვილების დასხივებაც, რაც საზიანოა პაციენტის ჯანმრთელობისათვის.



(ა)



(ბ)



(გ)

სურათი 2. (ა) აბსორბირებული დოზის განაწილება ქსოვილში, (ბ) და (გ) პოზიტრონის ანიჰილირება პოზიტრონის ემისიური ტომოგრაფიის სისტემაში.

პოზიტრონის ემისიური ტომოგრაფია (პეტ) თითქმის იდეალურია ღვიძლის, პროსტატის, ფილტვის, საყლაპავის, თავისა და კისრის, ტვინის, თავის ქალის ფუძის და, აგრეთვე, ბავშვთა კიბოს სხვადასხვა სიმსივნეების სამკურნალოდ. პოზიტრონით ემიტირებული იზოტოპების (^{11}C , ^{13}N , ^{15}O და ^{18}F) შემცველი რადიოფარმაცევტული საშუალებების ხანმოკლე პროტონული დასხივება საშუალებას იძლევა ზუსტად „ამოვიღოთ მიზანში“ პაციენტის სიმსივნე, ე.ი. პროტონების ბრეგის პიკის ენერგიისა და დროის მიხედვით მოდულირებით კონფორმული გამოსხივების დოზა შეიძლება ისე მიეწოდოს სამიზნეს, რომ დაიზოგოს მიმდებარე ნორმალური ქსოვილები (სურათი 2ა). პროტონის ენერგიაზე ~ 250 მეგაევე ბირთვული ნაწილაკების შეღწევადობის მაქსიმალური სიღრმე არის 30 სმ. სინქროტრონებს (ელექტრონების ენერგიით $E_e = 100 - 220$ მეგაევე) 100 მკა-მდე დენზე შეუძლიათ წარმოქმნან სხვადასხვა ენერგიის პროტონები, ხოლო ციკლოტრონები წარმოქმნიან პროტონების უწყვეტ დენს ფიქსირებული ენერგიით ($E_p = 30 - 100$ მეგაევე). სამედიცინო ვიზუალიზაციის ასპექტ-ს შეუძლია მოგვცეს საკვლევი ობიექტის დეტალური სამგანზომილებიანი გამოსახულება, ასევე სისხლის ნაკადის, ჟანგბადის მოხმარებისა და გლუკოზის მეტაბოლიზმის გაზომვა. პეტ-ის მოქმედების პრინციპია პაციენტის დიაგნოსტირებულ ორგანოში რადიოაქტიური იზოტოპის შეყვანა, რომელიც დასხივდება ნაწილაკების ამაჩქარებლით, რის შედეგადაც გამოისხივდება პოზიტრონი, რომელიც სხეულში მოძრაობისას კარგავს ენერგიას. რაღაც მომენტში იგი ეჯახება ელექტრონს და ისინი ანიჰილირებენ 511 კეე ენერგიის გამა-კვანტების წყვილის წარმოქმნით, რომლებიც განიბნევიან $180.0 \pm 0.4^\circ$ -იანი კუთხით, როგორც ეს ნაჩვენებია სურათებზე 2ბ და 2გ.

რადიოსინოვიორთეზის მეთოდი მოიცავს რადიოაქტიური იზოტოპების შემცველი რადიოფარმაცევტული საშუალების კოლოიდური მიკრონაწილაკების ინტრასასხრულ შეყვანას. ის სწრაფად ფაგოციტირდება სინოვალური მემბრანის მთლიანი უჯრედებით, რითაც უზრუნველყოფს რეგმატოიდული და ფსორიაზული ართრიტის მკურნალობას (ცხრილი 3).

ცხრილი 3. რადიოსინოვიორთეზის იზოტოპები.

იზოტოპი	T _{1/2} , დღე	ნაწილაკი, მაქსიმალური ენერგია, კეე	თერაპიის ნაწილაკი	მაქსიმალური ენერგია, კეე	(საშუალო) დიაპაზონი ქსოვილში, მმ	ტიპური დოზა, მკი
¹¹⁷ Sn m	13.6	γ, 159	CE	151	0.27	0.5 – 1.0
¹⁶⁹ Er –	9.3	არცერთი, 350	β	0.14	1.1	1
¹⁸⁶ Re	3.7	γ, 137	β	1070	1.1	2.5
⁹⁰ Y	2.7	არცერთი, –	β	4.1	11	4
³² P	14.3	არცერთი, –	β	1711	2.8	2
⁹⁰ Au	2.7	γ, 412	β	960	0.9	7
¹⁵³ Sm 1	1.9	γ, 103	β	808	0.55	5
¹⁸⁸ Re	0.7	γ, 155	β	2120	3.1	10
¹⁶⁶ Ho	1.1	γ, 81	β	1855	2.6	10
¹⁶⁵ Dy	0.1	γ, 95	β	1289	1.3	270
¹⁷⁰ Tm	129	γ, 84	β	968	0.9	1.6 – 4.8

ცხრილი 4. საწარმოს „რადიოპრეპარატი“ მიერ გამოშვებული რადიოფარმაცევტული საშუალებები და წამლები.

#	რადიოფარმაცევტული საშუალებები და წამლები	ბირთვული მედიცინის პროგრამები
1	სამარიუმი – ¹⁵³ Sm ოქსაბიფორი	საანესთეზიო პრეპარატი მეტასტაზური და ანთებით დესტრუქციული ძვლოვანი ქსოვილების სამკურნალოდ
2	¹⁹⁸ Au ოქრო, ეტიკეტირებული როგორც კომიზოლი	ღვიძლში სისხლის ნაკადისა და ლიმფური კვანძების სკანირება
3	ნატრიუმის ³² P-ფოსფატის ხსნარი	პოლიციტემიის, თრომბოციტემიის, ლეიკემიისა და ნეოპლასტიკური ჰემატოლოგიური დარღვევების მკურნალობა
4	ნატრიუმი-იოდის ჰიპურატი, ეტიკეტირებული როგორც ¹³¹ I	თირკმელების ფუნქციური მდგომარეობის დიაგნოსტიკა
5	NaI-ის იზოტონიკი ხსნარში ¹³¹ I-თან ერთად	ტოქსიკური ჩიყვისა და ფარისებრი ჯირკვლის კიბოს მკურნალობა
6	ბენგალის ვარდი, ეტიკეტირებული როგორც იოდი-131	ღვიძლისა და სანაღვლე გზების ფუნქციური მდგომარეობის ჩვენება

აღნიშნულის საილუსტრაციოდ ცხრილში 4 ნაჩვენებია საწარმოს „რადიოპრეპარატი“ ის პროდუქცია, რომელიც განკუთვნილი იყო ბირთვული მედიცინისათვის. ესაა სათანადოდ ეტიკეტირებული რადიოფარმაცევტული საშუალებები და წამლები

კომპანია „რადიოპრეპარატი“ ასევე აწარმოებს $^{99}\text{Mo}/^{99}\text{Tc(m)}$ სორბციის გენერატორს, რომლის გამორეცხვაც წარმოქმნის სტერილურ, პიროგენისაგან თავისუფალ იზოტონურ ნატრიუმის პერტექნეტატის ხსნარს $^{99}\text{NaTc(m)}\text{O}_4$ 5550 მეგაბკ აქტივობით ტვინის სიმსივნეებისა და ცენტრალური და პერიფერიული ჰემოდინამიკის დიაგნოსტიკისათვის.

რადიაციული მედიცინის მეთოდებისა და რადიაციის შესაბამისი წყაროების ეფექტურად და უსაფრთხოდ გამოყენებისათვის ძალზე მნიშვნელოვანია ამ პროცედურებში სამედიცინო ფიზიკოსების ჩართულობა და მათი პროფესიული კვალიფიკაცია. ამიტომ ქვემოთ შევჩერდებით ამ მოთხოვნადი მიმართულების სპეციალისტების მომზადების საკითხების ორ თანამედროვე კვლევაზე.

მოხსენებაში [14] აღინიშნა, რომ დღეს უმაღლეს სამედიცინო სკოლაში განათლების მაღალი ხარისხის მიღწევა შეიძლება უზრუნველყოფილი იყოს მხოლოდ მეცნიერების, განათლებისა და ტექნოლოგიური ინოვაციების ინტეგრაციის გზით, რაც, ტრადიციულ სალექციო და სემინარულ კრედიტთა სისტემასთან ერთად, ეფექტურად იყენებს სხვადასხვა ახალ საგანმანათლებლო ტექნოლოგიას, როგორიცაა:

- სტუდენტზე ორიენტირებული სწავლების ტექნოლოგია, რომელიც გულისხმობს დიფერენცირებულ მიდგომას სტუდენტის ინტელექტუალური განვითარების დონისა და მისი შესაძლებლობების გათვალისწინებით. ეს მეთოდი შესაძლებელს ხდის აზროვნების სტერეოტიპების დაძლევას, მსმენელთა შემოქმედებითი პოტენციალის გაზრდას, პრობლემების გადაჭრის უნარ-ჩვევების გამომუშავებას, რაც მომავალში მათ აყალიბებს სამედიცინო ფიზიკის კონკურენტუნარიან სპეციალისტებად.
- განათლების განვითარების ტექნოლოგია სტუდენტებს ასწავლის კლინიკური სიტუაციების მაგალითზე, რაც უზრუნველყოფს აქტიურ მომზადებას მომავალი პროფესიული საქმიანობისათვის თანამედროვე ჯანდაცვის კონტექსტში. ამ მიზნით პრაქტიკული სავარჯიშოებში ფართოდ გამოიყენება მოდელირება ანუ რეალური ცხოვრებისეული სიტუაციის გათვალისწინება და სიტუაციური დავალება. მოდელირება ხასიათდება სასწავლო პროცესში სტუდენტთა ჩართულობის მაღალი ხარისხით და მყისიერი უკუკავშირით. ეს საშუალებას აძლევს სტუდენტებს გამოიყენონ საკუთარი ცოდნა, განიცადონ პასუხისმგებლობა გადაწყვეტილების მიღებაზე „რეალურ“ სიტუაციებში მათი გადაწყვეტილებების შედეგების გაანალიზებით და განვითარონ შესაბამისი უნარები.
- სწავლების პრობლემაზე ორიენტირებული ტექნოლოგია ითვალისწინებს პრობლემური სიტუაციის შექმნას, რაც სტუდენტისათვის ინტელექტუალურ სირთულეს წარმოადგენს და მას უბიძგებს გამოსავლის ძიებისაკენ. ეს ტექნოლოგია მოიცავს პრობლემისადმი მიძღვნილ ლექციებს, სემინარებს, სასწავლო დისკუსიებს, საგანმანათლებლო კვლევით სამუშაოებს. პრობლემაზე დაფუძნებული სწავლებაც მოიცავს „შემთხვევის ტექნოლოგიებს“ (კონკრეტული რეალური პროფესიული სიტუაციის წერილობითი აღწერა), რომლებიც ხელს უწყობენ შესწავლილი საკითხებისადმი შემეცნებითი ინტერესის ზრდას,

კვლევის, კომუნიკაციისა და შემოქმედებითი გადაწყვეტილების მიღების უნარების განვითარებას.

- მოდულური ვარჯიშის ტექნოლოგია ქმნის პირობებს სტუდენტთა აზროვნების, მეხსიერების, შემოქმედებითი მიდრეკილებებისა და შესაძლებლობების განვითარებისათვის, ასტიმულირებს სტუდენტთა საგანმანათლებლო და შემეცნებით საქმიანობას, აორგანიზებს მათ პროფესიული სამეცნიერო ცოდნის, უნარებისა და შესაძლებლობების დასაუფლებლად. აღსანიშნავია, რომ დისტანციური სწავლება სტუდენტებს ინფორმაციის არატრადიციულ წყაროებზე წვდომას აძლევს, ზრდის დამოუკიდებლად მუშაობის ეფექტურობას, უზრუნველყოფს სრულიად ახალ შესაძლებლობებს, აჩენს სტიმულს შემოქმედებითობის, სხვადასხვა პროფესიული უნარების შეძენისა და კონსოლიდაციისათვის და საშუალებას აძლევს პროფესორს გამოიყენოს სწავლების არსებითად ახალი ფორმები და მეთოდები მოვლენებისა და პროცესების კონცეპტუალური და მათემატიკური მოდელირების გზით.
- თამაშით აქტივობის ტექნოლოგიები სპეციფიკურ პედაგოგიურ პროცესს წარმოადგენს. ესაა სხვადასხვა თამაშების სახით ორგანიზების მეთოდებისა და ტექნიკების ფართო ჯგუფი. პრაქტიკული სავარჯიშოების ჩატარებისას მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ როლური ან საქმიანი თამაშები, რომლებიც ვიზუალურია, მიიპყრობს ჯგუფის ყურადღებას და ახდენს რეალური სამყაროდან აღებული სიტუაციების სიმულირებას. ისინი აძლევენ მსმენელებს შესაძლებლობას დაინახონ, თუ რას შეიძლება გრძნობდნენ ან როგორ მოიქცნენ სხვები მოცემულ სიტუაციაში, უზრუნველყოფენ უსაფრთხო გარემოს, რომელშიც მონაწილეები შეძლებენ შეისწავლონ საკითხები, რომელთა განხილვაც მათ რეალურ ცხოვრებაში არ შეუძლიათ კომფორტულად. როლური თამაში საშუალებას გვაძლევს გამოვიკვლიოთ ალტერნატიული მიდგომები, როდესაც ვეძებთ გამოსავალს სიტუაციებიდან, შევცვალოთ ადამიანების დამოკიდებულება და ვნახოთ მათი ქმედებების გავლენა სხვებზე. საქმიანი თამაშის პროცესში აითვისება პროფესიული და სოციალური (ურთიერთობები გუნდში) ქმედებების ნორმები. უფრო მეტიც, თითოეული მონაწილე იმყოფება აქტიურ პოზიციაზე და ურთიერთობს პარტნიორებთან. და ამ ურთიერთქმედებით ის საკუთარ თავსაც უკეთ შეიცნობს.
- საინფორმაციო და საკომუნიკაციო ტექნოლოგიები არის ტექნოლოგიები ინფორმაციის გადაცემის, დაგროვებისა და დამუშავებისათვის. ამის მიღწევა შესაძლებელია „ელექტრონული სახელმძღვანელოების“, ელექტრონული ტრენაჟორების, მულტიმედიური პროგრამების, ინტერაქციული სწავლებისა და მონიტორინგის პროგრამების გამოყენებით. ლოკალური კომპიუტერული ქსელის, ელექტრონული ბიბლიოთეკის კომპლექსის შექმნა, ინტერნეტთან წვდომა დიდი რაოდენობით კომპიუტერების შეერთებით ელექტრონულ სამეცნიერო (ამ შემთხვევაში, სამედიცინო ფიზიკის) რესურსებთან სტუდენტების სწავლებაში ფართოდ გამოყენების საშუალებას იძლევა.
- სიმულაციური ტექნოლოგიები თანამედროვე სამედიცინო განათლებაში შესაძლებელს ხდის სტუდენტების (მომავალი სამედიცინო ფიზიკოსების) პრაქტიკული მომზადების ხარისხის გაუმჯობესებას. პროფესორის მეთვალყურეობის ქვეშ პრაქტიკულ მეცადინეობებზე სტუდენტს აქვს შესაძლებლობა ავტომატიზირდეს გამეორებათა მეშვეობით, განახორციელოს

გარკვეული მოქმედება სპეციალურ სამედიცინო ტრენაჟორებზე, შეიძინოს პრაქტიკული გამოცდილება და უნარები პაციენტის ჯანმრთელობისათვის ზიანის მიყენების გარეშე.

- კვლევის მეთოდი გამოიყენება შესაბამისი კათედრის სტუდენტური სამეცნიერო წრის მუშაობაში. კვლევით ექსპერიმენტულ სამუშაოს სტუდენტი სასწავლო წლის განმავლობაში სისტემატიურად ატარებს პროფესორის ხელმძღვანელობით, რაც სრულდება მისი დაცვით სტუდენტურ სამეცნიერო კონფერენციაზე.

ამრიგად, სპეციალისტების (მომავალი ფიზიკოს-ექიმების) პროფესიულ მომზადებაში თანამედროვე პედაგოგიური ტექნოლოგიების დანერგვა შესაძლებელს ხდის მომზადდეს შესაბამისი დონისა და პროფილის კვალიფიციური სპეციალისტი, შრომის ბაზარზე კონკურენტუნარიანი და კომპეტენტური თავის პროფესიაში.

სამედიცინო ფიზიკის მასწავლებლისათვის ერთერთი აქტუალური პრობლემა დღეს არის თანამედროვე საგანმანათლებლო ტექნოლოგიების შექმნა და გამოყენება პედაგოგიურ პრაქტიკაში [15]. მან არამხოლოდ უნდა მისცეს სტუდენტებს საჭირო ცოდნა სამედიცინო ფიზიკაში, არამედ დააინტერესოს კიდევ ისინი მეცნიერების ამ მიმართულებით, რაც საბოლოოდ გამოიღებს იმ შედეგს, რომ ამ სფეროში საკმარისი რაოდენობით იქნებიან კარგი სპეციალისტები და კვალიფიციური პერსონალი.

ამჟამად, განათლების სისტემაში გატარებული მასშტაბური რეფორმების ფარგლებში, მიმდინარეობს პრაქტიკული მუშაობა ფუნდამენტური სწავლების სისტემის რადიკალურად გარდაქმნის, განათლებაში მათი ინტეგრირებისა და ინფორმაციის ეფექტურად გამოყენების მიზნით. განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა კვლევით მუშაობას, რომელიც დაკავშირებულია განათლებაში თანამედროვე საინფორმაციო ტექნოლოგიების დანერგვასთან, პროგრამულ უზრუნველყოფაზე დაფუძნებულ სწავლების ხარისხის გაუმჯობესებასთან, ასევე პროცესის ეფექტურ ორგანიზაციაში ინტეგრირებული სწავლების შემოტანასთან. ყოველივე ეს განაპირობებს თანამედროვე სამედიცინო ფიზიკის აქტუალურ სფეროებში თრეინინგების ორგანიზების გაუმჯობესების აუცილებლობას.

ამრიგად, სამედიცინო ფიზიკის სწავლებისას შესაძლებელია მკვეთრად გაიზარდოს სწავლების თანამედროვე მეთოდებისა და ტექნოლოგიების ეფექტურობა საინფორმაციო ტექნოლოგიების მიზანმიმართული გამოყენებით. სამედიცინო ფიზიკაში სასურველია გამოყენებულ იქნას ძირითადად ორი მიმართულება იმ საგნების შესწავლისას, რომლებშიც აუცილებელია სამედიცინო ფიზიკოსის მიერ ბევრი პრაქტიკული და ლაბორატორიული კვლევის ჩატარება. პრაქტიკული გამოყენებებიდან და მოდელებიდან, განსაკუთრებით კი, იმ სიმულაციური პროგრამებიდან, რომლებიც გამოკვლეულია პროცესების მოდელირებისა და პროგრამირების მეცნიერებაში, აღსანიშნავია რეალური ობიექტების მოდელირება და შესაბამისი გამოყენებები. ამ ვირტუალური მოდელების შესწავლის პროცესში შესაძლებელია მათი განხორციელების მეთოდების შემდგომი გაუმჯობესება.

მულტიმედიური ხელსაწყოების გამოყენება მკითხველის განათლებისათვის ძალზე ეფექტურია. ამ ხელსაწყოს საშუალებით შეგვიძლია დავზოგოთ დროის საშუალოდ 30%-მდე, სწავლების ტრადიციულ მეთოდებთან შედარებით, ისე, რომ მიღებული ცოდნა დიდხანს დარჩება მკითხველის მეხსიერებაში. ცნობილია, რომ მოსმენილი ცოდნის მეოთხედი მეხსიერებაში რჩება. თუმცა მულტიმედიის გამოყენებისას ინფორმაცია მეხსიერებაში ინახება და წარმოსახვის შესაძლებლობა 25 – 30%-მდე იზრდება. ეს ცოდნა ასახულია აუდიო, ვიდეო და გრაფიკულ ფორმებში. ამ

გზით მეხსიერებაში ცოდნის შეკავება შეიძლება გაიზარდოს 75%-მდე. მულტიმედიური ტექნოლოგიების გამოყენება საგანმანათლებლო სისტემაში, კერძოდ, სამედიცინო ფიზიკის სფეროში ნიშნავს ბეჭდური სახელმძღვანელოების ელექტრონულ ვერსიებს, ელექტრონულ სახელმძღვანელოებს, ელექტრონულ პლაკატებსა და პროცესების ვირტუალურ მოდელებს, ტესტურ პროგრამებსა და ლაბორატორიულ სამუშაოებს, ვირტუალურ სტენდების შექმნას, პრობლემების ვირტუალურ გადაჭრას და ა.შ.

მნიშვნელოვანია ახალგაზრდებში ინტერესის გაღრმავება სამედიცინო ფიზიკის, როგორც მეცნიერებისადმი. ამ მიზნით სამედიცინო ფიზიკის გამოცდის ჩაბარების პროცესში საჭიროა მხოლოდ აუცილებელი ინფორმაციის შერჩევა და მონაცემების რაოდენობრივად შემცირება, სტუდენტის მიერ ახალი ცოდნის დაუფლების უნარის შესაბამისად. ვირტუალური სტენდები საშუალებას აძლევს სამედიცინო ფიზიკის მიმართულების თითოეულ სტუდენტს ტექნოლოგიური თვალსაზრისით „გაამზადოს“ მონაცემების შეყვანის საკუთარი ვიზუალიზატორები, გააკონტროლოს საკუთარი ცოდნა. განსაკუთრებით ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულებისას არის საჭირო ამოცანის თანმიმდევრული გააზრება და კომპიუტერული ეფექტის გამო სხვებთან დაკავშირებული დროის კარგვის პრობლემის აღმოფხვრა.

ვირტუალური სტენდების სასწავლო პროცესში დანერგვის შედეგად, ტრადიციულ განათლებასთან შედარებით, უზრუნველყოფილია სპეციალისტების მომზადების საგანმანათლებლო პროცესის უფრო მაღალი ხარისხი. ეს მიიღწევა სპეციალიზებული საგანმანათლებლო და მეთოდოლოგიური პრაქტიკის გამოყენებით, რომელიც შედგება ავტომატიზებული მასწავლებლებისა და ტესტირების, ტესტების სისტემებისა და კითხვების თვითშემოწმების, საგანმანათლებლო პროცესის მეთოდოლოგიური საფუძვლის ოპერატიული ფაქტობრივი აღრიცხვისაგან.

4. რადიაციული უსაფრთხოების მონიტორინგი

4.1. რადიაციული მონიტორინგის საშუალებები

იმ ობიექტებს შორის, სადაც აუცილებელია დასაქმებული პერსონალის რადიაციული უსაფრთხოების მონიტორინგი უმნიშვნელოვანესია ატომური ელექტროსადგურები (აეს). ამიტომაც აეს-ების ექსპლუატაციის პროცესში სწრაფად ვითარდებოდა ისმ მეთოდები და აღჭურვილობა, რომლებიც გამოიყენება რადიაციულ მონიტორინგში და ამ გზით მოპოვებული მონაცემების ანალიზში. ამან საბოლოოდ აამაღლა ჯერ არსებული ხარვეზების დასაშვებობის დონე და, ამასთან ერთად, საგრძნობლად შეამცირა ელექტროსადგურების მართვაზე ადამიანური და ფინანსური რესურსების დანახარჯები. შესაბამისი კვლევა [16] ჩატარებულია შპს-ის GammaTech მიერ, რომელიც წარმოადგენს როგორც მიმწოდებელს, ასევე – დეველოპერსა და მწარმოებელს ისეთი პროდუქციისა, როგორიცაა მაიონებელ, კერძოდ, ალფა-, ბეტა- და გამა-გამოსხივებათა ნახევარგამტარული და სცინტილაციური სპექტრომეტრები და მათ ბაზაზე რადიაციის მართვისა და გაზომვის რთული ანუ ზედა დონის სისტემები.

ასეთი აღჭურვილობის გამოყენების დიაპაზონია დაწყებული ათვლის ლაბორატორიებიდან, სადაც გამოიყენება hp-Ge (ანუ მაღალი სისუფთავის გერმანიუმის კრისტალზე დამზადებული) და სცინტილაციის სპექტრომეტრები, და დამთავრებული რადიაციული უსაფრთხოების განყოფილებებით, რომლებისთვისაც ძირითადი ინტერესის საგანს სპექტრომეტრიული გამა-ვიზორები წარმოადგენენ. სწორედ ისინი

იძლევიან გამა-რადიაციული ველების ვიზუალიზაციის საშუალებას, რითაც სიდიდის რიგებით მცირდება პერსონალის ექსპოზიციის დონე, სადგურის გაჩერებათა ხანგრძლივობა და, შესაბამისად, მიიღება მნიშვნელოვანი ფინანსური ეკონომია.

რაც შეეხება რადიოაქტიური ნარჩენების დეკომისირებისა და კონტროლის ზონებს, აქ რადიოაქტიური ნარჩენების აღსარიცხად შემუშავებული პროგრამული და აპარატურული სისტემები ფუნქციონირებენ რადიოაქტიური ნარჩენების გამოსხივების გაზომვის სხვადასხვა მოდულთან ერთად. მაგალითად, ესენია ტომოგრაფიული გამა-სკანერები, მთლიანი კონტეინერების საბოლოო მართვის სისტემები ანდა მცირე ზომის საგნების მართვის მოდულები.

კონკრეტულ რეგიონში რადიაციული მდგომარეობა ისეთ ფაქტორებზეა დამოკიდებული, როგორიცაა ტერიტორიის გარე რადიაციული გამა-ფონი, ტერიტორიის ბუნებრივი მახასიათებლები, კერძოდ, კოსმოგენური წარმოშობის გამა-გამოსხივების ინტენსიურობა, ბუნებრივი რადიოაქტიური ელემენტების სპეციფიკური აქტივობა ზონაში, ჰაერი, ნიადაგი და წყალი. ტერიტორიის რიგი რადიაციული ფაქტორების (კოსმოგენური, ფონური, სამრეწველო) გარემოსათვის მნიშვნელობა დადგენილია და რეგულირდება საერთაშორისო და კონკრეტული ქვეყნების დოკუმენტებით. კვლევაში [17] აღწერილია ათზე მეტი რადიაციული დოზიმეტრიული მეთოდი ურანის წარმოების ყველა რადიაციულ სახიფათო ფაქტორიდან ჯამური ეფექტური წლიური დოზის გამოსათვლელად. საქმე ეხება ურანის საწარმოების პერსონალის წლიური ეფექტური დოზის დაანგარიშებას და მის დაკავშირებას მთლიანად რეგიონში არსებულ რადიაციულ სიტუაციასთან.

მოსახლეობის მაქსიმალური ჯამური წლიური ეფექტური დოზად დადგენილია 2.0 მზვ, ხოლო B და A კატეგორიის მუშაკებისთვის 5.0 და 20.0 მზვ, შესაბამისად. გამა-გამოსხივების ტექნოგენური წყაროებიდან რადიაციის წლიური ეფექტური დოზები ექსპოზიციის დოზის სიჩქარის გაზომვისას გამოითვლება გამა-გამოსხივების საშუალო წლიური ექსპოზიციის დოზის სიჩქარის მნიშვნელობებიდან სამუშაო ადგილებზე დედამიწის ზედაპირიდან ან ოთახების იატაკიდან 1 მ სიმაღლეზე. ეს უკანასკნელი ტიპური სიდიდეა მოცემული ტერიტორიისათვის ღია სივრცეში ან ისეთი შენობების დაკვირვების ზონების გარეთ მუშაობისას, რომლებიც აგებულია იმავე ადგილზე და იმავე სამშენებლო მასალებისაგან და რომელშიც იმყოფებიან A ან B კატეგორიის პირები.

რადიაციის წლიური ეფექტური დოზა B კატეგორიის მოსახლეობაში, რომლებიც ცხოვრობენ შესაბამისი საწარმოებისა და დაწესებულებების სადამკვირვებლო ზონებში, გამოითვლება ეფექტური წლიური დოზიდან, რომელიც დაკავშირებულია რადონის ეკვივალენტური წონასწორული მოცულობითი აქტივობის შედეგად ატმოსფერულ ან სამუშაო ოთახების ჰაერიდან (A და B კატეგორიებისათვის) შიდა დასხივებასთან. თავის მხრივ, შიდა დასხივების ეფექტური წლიური დოზა განპირობებულია რადონის ^{222}Rn და ^{220}Tn შვილობილი იზოტოპების ეკვივალენტური წონასწორული მოცულობითი აქტივობის მნიშვნელობებით. იგი ახასიათებს ადამიანის მთელი სხეულის და მისი ცალკეული ორგანოებისა და ქსოვილების დასხივების გრძელვადიანი შედეგების რისკის დონეს, მათი რადიომგრძნობელობის გათვალისწინებით, და წარმოადგენს ორგანოებსა და ქსოვილებში ეკვივალენტური დოზის პროდუქტების ჯამს შესაბამისი შეწონის ფაქტორებით.

რადიაციის ეფექტური დოზები ჰაერში გამოითვლება რადონის ხანგრძლივი მოქმედების პროდუქტების არსებობის და, კერძოდ, ხანგრძლივი აქტივობის ალფა-რადიონუკლიდების აეროზოლურ ფრაქციებში არსებობის გათვალისწინებით.

შესაბამისი ფორმულით მხედველობაში მიიღება აგრეთვე საშუალო წლიური ჯამური საერთო და სპეციფიკური ალფა-აქტივობების ფონური მნიშვნელობები ოთახის ჰაერში, 3 მ/წმ-მდე სიჩქარის ქარის ალბათობა მოცემულ ტერიტორიაზე, ექსპოზიციის ფაქტორივი დრო წლის განმავლობაში და შიდა დასხივების ეფექტური დოზა მოხმარებული სასმელი წყლის აქტივობის გამო.

სასმელი წყლით მიღებული რადიონუკლიდების ეფექტური დოზის გაანგარიშება მოსახლეობის კრიტიკული ჯგუფებისა და B კატეგორიის მუშებისათვის ხდება ფორმულით, რომელიც ითვალისწინებს რადიონუკლიდების საშუალო წლიური ალფა-და ბეტა-აქტივობებს სასმელ წყალში და სასმელი წყლის წლიური მოხმარებას (მოსახლეობისთვის აღებულია 800, ხოლო B კატეგორიის მუშაკებისათვის – 230 ლ).

ზემოთ აღნიშნული მეთოდების გამოყენებით შესაძლებელია რადიაციულად სახიფათო ფაქტორებიდან ჯამური ეფექტური წლიური დოზის გამოთვლა და მისი დაკავშირება რეგიონის რადიაციულ სიტუაციასთან. შეგვიძლია დავასკვნათ, თუ რომელი რადიაციული ფაქტორია ამ რეგიონში დოზის გამომუშავებისათვის მთავარი. ძირითადი ფაქტორის განსაზღვრით კი შევძლებთ ვიმოქმედოთ რეგიონში რადიაციული მდგომარეობის გასაუმჯობესებლად.

მოხსენებაში [18] განხილულია კვლევითი ბირთვული რეაქტორების მახლობლად არსებული ნეიტრონული ველების მონიტორინგის პრობლემა. აქ ნეიტრონული გამოსხივება ძირითადად გვხვდება რეაქტორის ინსტალაციის ბიოლოგიური დაცვის უკან. ვინაიდან რეაქტორის გულში წარმოქმნილ პირველად ნეიტრონებს მაღალი ენერგია აქვთ, მათ ანელებენ მოდერატორში ბირთვულ საწვავთან ეფექტური ურთიერთქმედების მიზნით. ბიოლოგიური დამცავის სპექტრი შეიცავს ნეიტრონებს მთელ ენერგეტიკულ ინტერვალში 0.025 ევ-დან 20 მეგაევ-მდე. ადგილი აქვს სპექტრის ფორმასა და გაზომვის წერტილზე ძლიერ დამოკიდებულებას. ნეიტრონულ სპექტრზე მნიშვნელოვნად ზემოქმედებს გარემოში მათი განზნევა.

პერსონალური დოზის გაზომვისას საჭიროა ვიცოდეთ არამხოლოდ ნეიტრონულ ნაკადში ენერგიის სიმკვრივის განაწილება: ამ მიზნისათვის კუთხური განაწილებაც საინტერესოა. ნეიტრონულ ენერგიაზე ოპერაციათა რაოდენობების ძლიერი დამოკიდებულების გამო, პერსონალური ეფექტური დოზის ადეკვატური შეფასება შეიძლება განხორციელდეს ნეიტრონული ველების ყველა მახასიათებლის მხედველობაში მიღებით. მიუხედავად იმისა, რომ ბევრი კვლევითი ბირთვული რეაქტორი აშენებულია და ერთიდაიგივე პროექტის ფარგლებში, მათ ნეიტრონულ ველებს რეაქტორული დარბაზების ურთიერთშესაბამის წერტილებში განსხვავებული მახასიათებლები აქვთ. ამის მიზეზია რეაქტორების გულის სხვადასხვა შემადგენლობა და სხვადასხვა ტიპის ბირთვული საწვავის გამოყენება.

ნეიტრონული ნაკადის სიმკვრივის ენერგიისა და კუთხის მიხედვით განაწილება გაზომილია იმ წერტილებში, სადაც გარემოს ნეიტრონული დოზის ეკვივალენტური გაზომვის სტაციონარული სისტემაა განლაგებული. ოპერაციათა რაოდენობები და ეფექტური დოზა ფასდებოდა გაზომილი მნიშვნელობებით. ნეიტრონული გამოსხივების წვლილი დოზის სიჩქარეში მერყეობდა 5-დან 60%-მდე.

ნეიტრონული ნაკადის სიმკვრივის ენერგიის მიხედვით განაწილებას განსხვავებული ფორმა აქვს, მაგრამ ყოველთვის შეიცავს სწრაფ კომპონენტებს. ნეიტრონული ნაკადის სიმკვრივის კუთხურ განაწილება ძირითადად იზოტროპულია, მაგრამ ზოგიერთ შემთხვევაში შეიძლება მიმართული იყოს. გარემოს დოზის ეკვივალენტი მერყეობს 51-დან 137 პზვ/სმ²-მდე. უბნის სპეციფიკური კორექტირების

ფაქტორები უნიკალურია თითოეული რეაქტორისათვის, მათი დიზაინის მახასიათებლების გამო და მერყეობს 0.03-დან 0.43-მდე ინტერვალში.

აგრეთვე შესწავლილია [19] ისეთი საინფორმაციო სისტემების იმპლემენტაციის მიზანშეწონილობა, რომლებიც განკუთვნილია მრავალჯერად რენტგენულ და რადიოლოგიურ კვლევებთან დაკავშირებული სამედიცინო რისკების შეფასების, წინასწარმეტყველებისა და რეგისტრირებისათვის. მაიონებელი გამოსხივების გამოყენებამ მედიცინაში, განსაკუთრებით მრავალჯერადი რენტგენოლოგიური გამოკვლევებით, შეიძლება გამოიწვიოს არასასურველი შედეგები პაციენტების ჯანმრთელობისათვის. ესაა ე.წ. სტოქასტიური ანუ სავარაუდო ეფექტები. არაერთმა მულტიცენტრულმა კვლევამ აჩვენა ონკოლოგიური ავადობის რისკის ზრდა იმ ადამიანებისათვის, რომლებმაც გაიარეს განმეორებითი CT-კვლევები ბავშვობაში. ამ და სხვა მსგავსმა მონაცემებმა გამოიწვია ყურადღების გამახვილება პროცედურებზე რენტგენოლოგიური გამოსახულების დანიშვნის, დასაბუთებისა და ჩატარებისათვის, განსაკუთრებით კი მრავალჯერადი კვლევებისათვის.

შედეგად საერთაშორისო და ეროვნულ დონეებზე მკაფიოდ იქნა განსაზღვრული ნორმები და მოთხოვნები შესაძლო სტოქასტიკური ეფექტების რისკის შესაფასებლად და პაციენტის ინფორმირებისათვის სამედიცინო რენტგენოგრაფიის დაგეგმვისა და დასაბუთებისას (აესს-ის უსაფრთხოების ძირითადი საერთაშორისო სტანდარტების მოთხოვნა 36, პუნქტი 3.150; რადიაციული დაცვის საერთაშორისო სტანდარტები UNSCEAR და ICRP).

დასრულდა და დაიტესტა საინფორმაციო სისტემა, რომლის დანიშნულებაც არის მრავალჯერადი სამედიცინო რენტგენოლოგიური დასხივების არასასურველი სტოქასტიკური შედეგების განვითარების ინდივიდუალური რისკის პროგნოზირება და რეგისტრირება ინტერაქციულ რეჟიმში. სისტემის დამატებითი ფუნქციაა ეფექტური დოზების შესახებ ანალიტიკური ანგარიშის ავტომატური მომზადება.

4.2. რადიაციის იზოტოპური წყაროები და დოზიმეტრები სბმც-ში

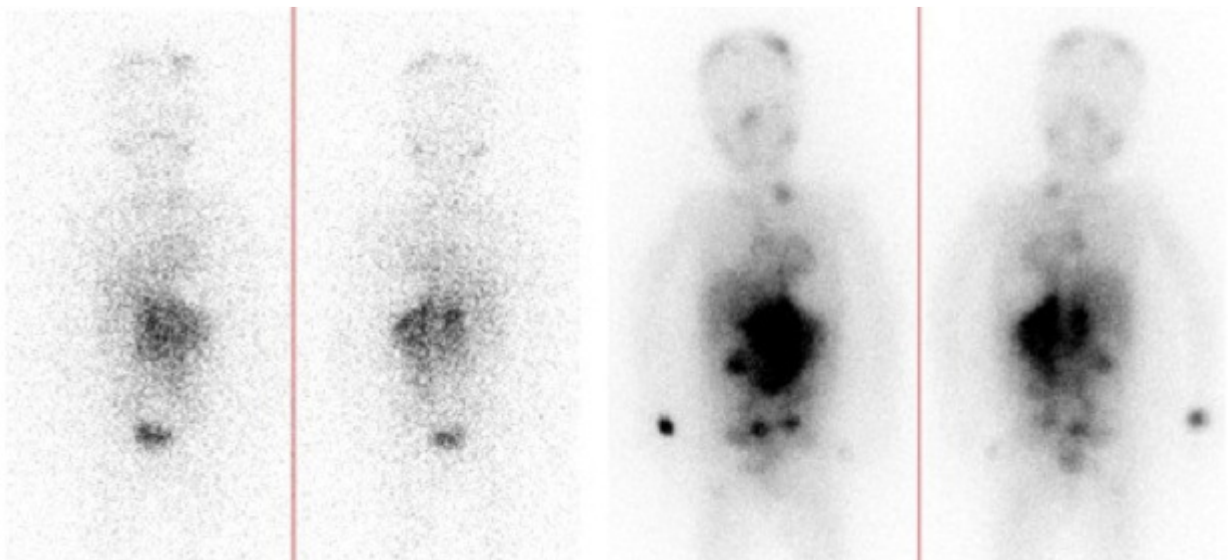
თბილისის სხივური და ბირთვული მედიცინის ცენტრში (სბმც) გამოიყენება შემდეგი რადიოიზოტოპური წყაროები:

- იოდის ^{131}I იზოტოპი, რომელიც ძირითადად (90%) ასხივებს ბეტა-ნაწილაკებს ენერგიით 606 კეე და გამა-ქვანტებს (10%) ენერგიით 364 კეე [20], გამოიყენება ვიზუალიზაციისათვის. ^{131}I -ის აქტივობა ადამიანის ორგანიზმში წარმოდგენილია **სურათზე 3**. ნახევარდაშლის პერიოდია 8.02 დღე. დიდი რაოდენობის ^{131}I -ის გარე ზემოქმედებამ შეიძლება გამოიწვიოს თვალებისა და კანის დამწვრობა. შიდა ზემოქმედებას კი შეუძლია გავლენა მოახდინოს ფარისებრ ჯირკვალზე.
- ტექნეციუმის იზოტოპი ^{99}Tc [21], როგორც რადიოფარმაცეპტი, გამოიყენება ადამიანის ძვლოვანი სისტემის სცინტიგრაფიისათვის, გამა-კამერაზე მისი ვიზუალიზაციისათვის. შემთხვევათა 89.1%-ში გამა-კვანტების ენერგიაა 140.51 კეე, ნახევარდაშლის პერიოდი – 6 სთ.

თბილისის სხივური და ბირთვული მედიცინის ცენტრის პერსონალის მიერ მიღებული რადიაციული დოზების გასაზომად გამოიყენება ორი ტიპის დოზიმეტრი:

- TLD, ეს არის თერმოლუმინესცენციური დოზიმეტრი, რომელიც ზომავს მაიონებელ რადიაციას მასში ენერგიის დაგროვებით [22]. მაიონებელი რადიაციის ზემოქმედებით ხდება ელექტრონების აღზნება და მათი

შენარჩუნება ამ მდგომარეობაში. შემდგომი გათვლით გამოსხივდება ხილული სინათლე, რომლის ინტენსიურობაც პირდაპირპროპორციულია დაგროვილი ენერგიისა. მგრძნობელობა შეადგენს 0.1 მზვ-ს. ამ ტიპის დოზიმეტრებს, ჩვეულებრივ, ამზადებენ კალციუმისა CaF_2 და ლითიუმის ფტორიდების LiF კრისტალებისაგან. კალციუმის ფტორიდი ძირითადად გამოიყენება გამა-გამოსხივების დეტექტირებისა და გაზომვისას, ხოლო ლითიუმის ფტორიდი, აგრეთვე, ნეიტრონული გამოსხივებისთვისაც. როცა მაიონებელი რადიაცია ხვდება დეტექტორზე (უფრო ზუსტად, მის ჩიპზე), მისი სტრუქტურა ოდნავ იცვლება. თერმოლუმინესცენტურ მასალაში აღგზნებულმა ელექტრონებმა შეიძლება მიაღწიონ გამტარებლობის ზონას. ამ შემთხვევაში სტრუქტურის დეფექტები აღარ აძლევენ მათ საშუალებას, რომ დატოვონ ეს ზონა – ელექტრონები „დამწყვდეული“ რჩებიან გამტარებლობის ზონაში. სწორედ ჩაჭერილ ელექტრონებთანაა დაკავშირებული დაგროვებული ენერგია. რომ დავადგინოთ შთანთქმული დოზა TLD-წამკითხველით, უნდა მოხდეს ჩიპის გახურება. ამ დროს დეტექტების მიერ ჩაჭერილი ელექტრონები ბრუნდებიან საწყის მდგომარეობაში და ასხივებენ ხილული სინათლის დიაპაზონის ფოტონებს. წაკითხვის პროცედურის დასრულების მერე ჩიპი ხურდება კიდევ უფრო მაღალ ტემპერატურამდე, რომელიც აუცილებელია ყველა „დამწყვდეული“ ელექტრონის გასათავისუფლდად, რის შემდეგაც დოზიმეტრი უკვე მზადაა ახალი გაზომვისათვის. როგორც ითქვა, ამ ტიპის დოზიმეტრებში ყველაზე ხშირად გამოყენებული მასალაა ლითიუმის ფტორიდი. თუმცა, ასევე გვხვდება ლითიუმის ბორატსა და სულფიდზე დამზადებული TLD-დოზიმეტრებიც.



სურათი 3. იოდის ^{131}I იზოტოპის რადიოაქტივობა ადამიანის ორგანიზმში.

- OSL-დოზიმეტრები გამოიყენება რენტგენის, გამა-, ბეტა- და ნეიტრონულ გამოსხივებათა მონიტორინგისათვის [23]. ისინი გამოირჩევა მაღალი მგრძნობიარობით. ხშირად მუშა მასალაა ბერილიუმის ოქსიდი BeO , რომელიც შეიცავს კრისტალური სტრუქტურის ისეთ დეფექტებს, რომლებზეც ჩაიჭირება მაიონებელი რადიაციის მეშვეობით გათავისუფლებული ელექტრონები. OSL-

ტექნოლოგია, გახურებით სტიმულირების ნაცვლად, იყენებს სტიმულირებას სინათლით. ამგვარი სტიმულირების შემდეგ გამოსხივდება ხილული სინათლე, რომლის ინტენსიურობაც იზომება ფოტოჩამკითხველით და ამ გზით დგინდება დოზა. ბერილიუმის ოქსიდის გარდა, OSL-დოზიმეტრები ალუმინის ოქსიდზეც Al_2O_3 მზადდება.



ხედი წინიდან



ხედი უკნიდან

სურათი 4. დოზიმეტრი UD-802.

წინამდებარე სტატიაში ვეყრდნობით გაზომვებს, რომლებიც ჩატარდა UD-802 მარკის დოზიმეტრების გამოყენებით. მისი წინა და უკანა ხედები ნაჩვენებია **სურათზე 4**.

4.3. სბმც-ის პერსონალის რადიაციული უსაფრთხოების მონიტორინგის შედეგები

თბილისის სხივური და ბირთვული მედიცინის ცენტრში რადიაციულ მონიტორინგს ექვემდებარება სხივური მედიცინის განყოფილების და ბირთვული მედიცინის განყოფილების პერსონალი. ქვემოთ მოკლედ არის აღწერილი მათი მოვალეობები.

სხივური მედიცინის განყოფილება

ექიმი – რადიაციული თერაპევტი / რადიაციული ონკოლოგი განსაზღვრავს ყველა იმ მეთოდს, რომელიც საჭიროა კონკრეტული პაციენტის მკურნალობისათვის. ის აკონტროლებს პაციენტის ჯანმრთელობის მდგომარეობას სხივური თერაპიის განმავლობაში.

ექიმი საჭიროებისამებრ ესწრება უშუალოდ მკურნალობის პროცესს, რა დროსაც შეიძლება მიიღოს დასხივების დოზა.

რეზიდენტი – რეზიდენტის მოვალეობაა, რომ გაუწიოს ექიმს დახმარება ყველა იმ საქმიანობაში, რასაც მოიცავს პაციენტის მკურნალობის პროცედურა; აკონტროლოს პაციენტის ჯანმრთელობის მდგომარეობა და, ექიმთან შეთანხმებით, დანიშნოს შესაბამისი მედიკამენტური მკურნალობა; საჭიროების შემთხვევაში დაესწროს მკურნალობის პროცესს.

ვინაიდან რეზიდენტს ისევე, როგორც სხვა სამედიცინო პერსონალს, უწევს რადიაციის საკონტროლო ზონაში ყოფნა, ისიც იღებს რადიაციულ დოზას.

სამედიცინო ფიზიკოსი – ესაა პერსონალის წევრი, რომლის მთავარი მოვალეობაც არის პაციენტის „დაგეგმარება“ თერაპიისათვის ანუ პროცედურის უსაფრთხო გეგმის შედგენა, რის მეშვეობითაც მოხდება მისი დასხივება.

მას ასევე ევალება ჩაატაროს შედგენილი გეგმის ხარისხის კონტროლი: დარწმუნდეს მის უსაფრთხოებასა და სისწორეში. ვინაიდან კონტროლი გულისხმობს ფანტომის დასხივებას, მან თავადაც შეიძლება მიიღოს რადიაციული დოზა.

ტექნიკოსი – რადიაციული თერაპიის ტექნიკოსი ვალდებულია უზრუნველყოს ყველა ის პროცედურა, რომელიც კი აუცილებელია გამართული სხივური თერაპიის რეალიზებისათვის. მისი უშუალო მოვალეობებია:

- ჩაუტაროს პაციენტს ინსტრუქტაჟი და მოამზადოს მკურნალობისათვის
 - უზრუნველყოს პაციენტის დასასხივებლად მომზადება და მისი ფიქსირება დასხივების პროცესში
 - დაასხივოს პაციენტი სწორ დროს და სწორ ადგილას
 - ჩაუტაროს პაციენტს კომპიუტერული ტომოგრაფია
- ტექნიკოსების სამუშაო წარმოებს უშუალოდ აპარატურასთან, ბუნკერში, რის გამოც ტექნიკოსები იღებენ რადიაციულ დოზებს.

ბირთვული მედიცინის განყოფილება

ექიმი – ბირთვული მედიცინის ექიმი განსაზღვრავს, თუ რა აქტივობის რადიოფარმაკრეპარატი მიაწოდოს ამა თუ იმ პაციენტს; აკონტროლებს პაციენტების ჯანმრთელობის მდგომარეობას.

საჭიროების შემთხვევაში ესწრება სცინტიგრაფიის პროცედურას, რა დროსაც შეიძლება მიიღოს დასხივების დოზა.

ექთანი – ექთნის მოვალეობაა მიაწოდოს პაციენტს რადიოფარმაკრეპარატი; გაუწიოს მეთვალყურეობა პალატაში მყოფ პაციენტს, რომელიც გახდა გამოსხივების წყარო და საჭიროების შემთხვევაში გაუწიოს მას ნებისმიერი სახის დახმარება.

ექთნის სამუშაო წარმოებს უშუალოდ რადიოფარმაკრეპარატებთან და რადიაციის წყარო პაციენტებთან, რის გამოც ისიც იღებს რადიაციულ დოზას.

სამედიცინო ფიზიკოსი – სამედიცინო ფიზიკოსი უზრუნველყოფს რადიოფარმაკრეპარატთა კონტროლს; ზომავს მათ აქტივობას; ექიმის დანიშნულების შესაბამისად კონკრეტული პაციენტისათვის ამზადებს საჭირო აქტივობის რადიოფარმაკრეპარატს. პაციენტებს უტარებს ინსტრუქტაჟს.

სამედიცინო ფიზიკოსის სამუშაო წარმოებს რადიოფარმაკრეპარატებთან, რის გამოც ისიც იღებს რადიაციულ დოზას.

ტექნიკოსი – ტექნიკოსი სამედიცინო ფიზიკოსთან ერთად ამოწმებს რადიოფარმაკრეპარატების აქტივობას და ახარისხებს მათ; უზრუნველყოფს რადიოფარმაკრეპარატების მიტანას შესაბამის პაციენტებამდე. ასევე მისი მოვალეობაა, რომ თითოეულ პაციენტს ჩაუტაროს სცინტიგრაფია.

ტექნიკოსის სამუშაო წარმოებს რადიოფარმაკრეპარატებთან, რის გამოც ისიც იღებს რადიაციულ დოზას.

ამრიგად, ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი საქმიანობისას იქმნება იმის საშიშროება, რომ სამედიცინო პერსონალმა მიიღოს რადიაციული დასხივება, რის გამოც აუცილებელია უსაფრთხოების ზომების მიღება.

თბილისის სხივური და ბირთვული მედიცინის ცენტრის სხივური მედიცინის განყოფილებისა და ბირთვული მედიცინის განყოფილების პერსონალის მიერ

კვარტლურად მიღებული დოზები შეჯამებულია, შესაბამისად, ცხრილებში 5 და 6. ხაზი უნდა გაესვას იმ გარემოებას, რომ აქ გათვალისწინებულია ნულოვანი მონაცემებიც, რადგანაც ფასდება კონკრეტული პირების მიერ მიღებული დასხივება და აუცილებელია გაეცეს პასუხი კითხვას, ხომ არ აჭარბებს მის მიერ კონკრეტული წლის განმავლობაში მიღებული დოზა დადგენილ ზღვრულ დოზას. ამავე მიზეზითაა შენარჩუნებული ისეთი მაქსიმალური მნიშვნელობებიც, რომლებიც აშკარადაა ამოვარდნილი სხვა მონაცემთა რიგიდან.

ცხრილი 5. სხივური მედიცინის განყოფილების პერსონალის მიერ კვარტლურად მიღებული რადიაციის დოზები, მზვ.

პერსონალი	მინიმალური	მაქსიმალური	საშუალო
ექიმი – 1	0.262	1.900	0.685
ექიმი – 2	0.000	1.500	0.494
ექიმი – 3	0.325	0.371	0.348
რეზიდენტი – 1	0.345	0.641	0.478
რეზიდენტი – 2	0.423	1.830	0.825
რეზიდენტი – 3	0.386	6.460	1.720
რეზიდენტი – 4	0.293	1.130	0.643
სამედიცინო ფიზიკოსი – 1	0.343	1.800	0.682
სამედიცინო ფიზიკოსი – 2	0.335	1.090	0.596
სამედიცინო ფიზიკოსი – 3	0.412	1.130	0.645
ტექნიკოსი – 1	0.274	4.510	0.732
ტექნიკოსი – 2	0.000	1.000	0.494
ტექნიკოსი – 3	0.244	0.985	0.531
ტექნიკოსი – 4	0.300	1.700	0.626
ტექნიკოსი – 5	0.298	0.998	0.538
ტექნიკოსი – 6	0.237	0.908	0.569
ტექნიკოსი – 7	0.259	0.785	0.491
ტექნიკოსი – 8	0.306	0.725	0.505
ტექნიკოსი – 9	0.391	0.937	0.569
ტექნიკოსი – 10	0.508	0.536	0.522
ტექნიკოსი – 11	0.306	1.380	0.688

ცხრილი 6. ბირთვული მედიცინის განყოფილების პერსონალის მიერ კვარტლურად მიღებული რადიაციის დოზები, მზვ.

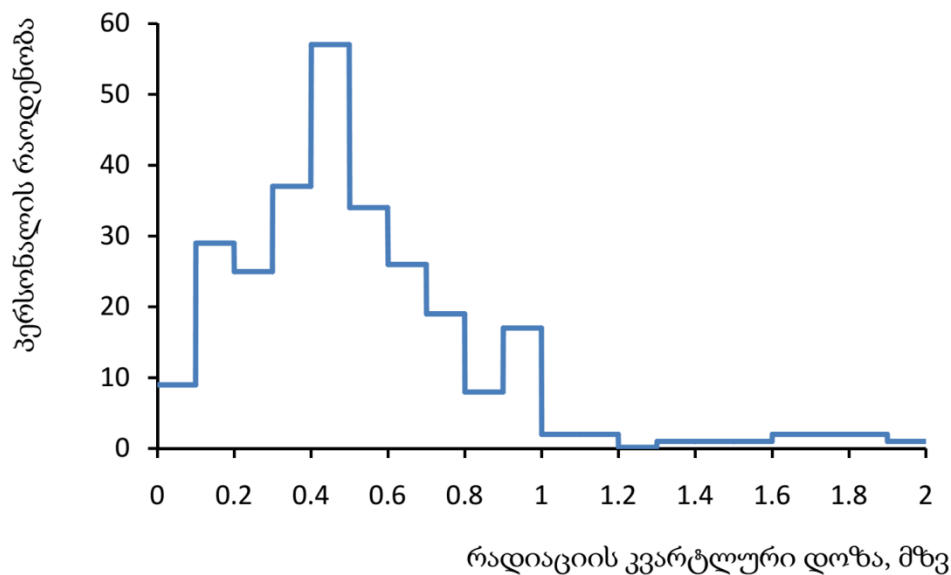
პერსონალი	მინიმალური	მაქსიმალური	საშუალო
ექიმი	0.000	0.559	0.198
ექთანი – 1	0.062	0.150	0.106
ექთანი – 2	0.000	0.729	0.302
ექთანი – 3	0.071	0.642	0.296
ექთანი – 4	0.125	0.494	0.259
სამედიცინო ფიზიკოსი	0.343	1.800	0.700
ტექნიკოსი – 1	0.000	0.968	0.384
ტექნიკოსი – 2	0.000	0.423	0.171

ცენტრის ამ ორივე განყოფილების სამედიცინო პერსონალის მიერ მიღებული რადიაციული დოზები პროფესიის / დაკავებული თანამდებობის მიხედვით შეჯამებულია ცხრილში 7.

ცხრილი 7. სხივური და ბირთვული მედიცინის ცენტრის პერსონალის მიერ კვარტლურად მიღებული დოზები პროფესიის / დაკავებული თანამდებობის მიხედვით, მზვ.

პერსონალი	მინიმალური	მაქსიმალური	საშუალო
ექიმები	0.000	1.900	0.513
რეზიდენტები	0.293	6.460	0.916
ექთნები	0.000	0.729	0.271
სამედიცინო ფიზიკოსები	0.335	1.800	0.671
ტექნიკოსები	0.000	4.510	0.532

რაც შეეხება სხივური და ბირთვული მედიცინის ცენტრის მთელი სამედიცინო პერსონალის მიერ მიღებულ დოზებს, შესაბამისი მონაცემების გაერთიანებით აგებულია სურათზე 5 წარმოდგენილი ჰისტოგრამა (ბიჯით 0.1 მზვ).



სურათი 5. რადიაციის კვარტლური დოზის სხივური და ბირთვული მედიცინის ცენტრის პერსონალზე განაწილების ჰისტოგრამა.

ამ შემთხვევაში გაზომვის ნულოვანი შედეგები ამოღებულია, რადგანაც ის შეესაბამება ისეთ კვარტლებს, რომლის განმავლობაშიც კონკრეტული პირები არ მუშობდნენ კლინიკაში. აგრეთვე ამოღებულია ორი მაქსიმალური მონაცემი: 6.460 და 4.510 მზვ, რომლებიც დაფიქსირდა, შესაბამისად, რეზიდენტისა – 3 და ტექნიკოსისათვის – 1, როგორც ამოვარდნილი მონაცემთა რიგიდან:

რეზიდენტი – 3: 0.662, 0.479, 0.386, 0.612 და **6.460**

ტექნიკოსი – 1: 0.351, 0.498, 0.479, 0.428, 0.609, 0.400, 0.700, 0.452, **4.510**, 0.905, 0.471, 0.274, 0.615, 0.387, 0.429, 0.542 და 0.394

რადგანაც ნათელია, რომ ეს შედეგები ან დოზიმეტრის მტყუნებით არის გამოწვეული ანდა რაიმე რადიაციულ ინციდენტებთანაა დაკავშირებული (მიზეზები უცნობია).

სულ 275 ანათვალი იქნა გათვალისწინებული, რომლებიც 2016 – 2020 წლების პერიოდში იქნა აღებული. სხივური და ბირთვული მედიცინის ცენტრის პერსონალის მიერ კვარტლურად მიღებული მინიმალური, საშუალო და მაქსიმალური რადიაციული დოზები, შესაბამისად, აღმოჩნდა 0.014, 0.519 და 1.900 მზვ.

კონკრეტული რიცხვითი მონაცემების უფრო დეტალური ანალიზის მცდელობას, რაც ჰისტოგრამის ბიჯის ვარირებას გულისხმობს, მივყევართ დასკვნამდე, რომ სხივური და ბირთვული მედიცინის ცენტრის სამედიცინო პერსონალის განაწილება, მათ მიერ მიღებული რადიაციული დოზების მიხედვით, მთავარი მაქსიმუმის მახლობლად გაუსის განაწილებას მოგვაგონებს. თუმცა, ამის დაბეჭდვით მტკიცება შეუძლებელია, რადგანაც მონაცემთა სიმცირე არ იძლევა არსობრივად დეტალური სტატისტიკური ანალიზი საშუალებას.

მინიმალური კვარტლური დოზა 0.014 მზვ შეესაბამება უმნიშვნელო წლიურ დოზას $0.014 \text{ მზვ} \times 4 = 0.056 \text{ მზვ}$.

რაც შეეხება საშუალო კვარტლურ დოზას 0.519 მზვ, ის შეესაბამება წლიურ დოზას $0.519 \text{ მზვ} \times 4 = 2.076 \text{ მზვ}$. ეს სიდიდე საგრძნობლად ნაკლებია, ვიდრე რდსკ-ის მიერ რეკომენდებული წლიური დასაშვები დოზა: 20 მზვ.

სხივური და ბირთვული მედიცინის ცენტრის სამედიცინო პერსონალის მიერ მიღებული მაქსიმალური წლიური დოზაც დასაშვების ფარგლებშია: $1.900 \text{ მზვ} \times 4 = 7.600 \text{ მზვ}$. თუმცა, ჩვენ მიერ სტატისტიკიდან ამოღებული მაქსიმალური დოზები 4.510 და 6.460 მზვ, მიღებული, შესაბამისად, ტექნიკოსისა – 1 და რეზიდენტის – 3 მიერ, წელიწადზე გადაანგარიშების შემთხვევაში უახლოვდება და აჭარბებს კიდევ დასაშვებ დოზას: $4.510 \text{ მზვ} \times 4 = 18.040 \text{ მზვ}$ და $6.460 \text{ მზვ} \times 4 = 25.840 \text{ მზვ}$. რამდენადაც ჩვენთვის არის ცნობილი, ამ მიზეზით ცენტრის ხელმძღვანელობამ რეზიდენტი – 3 გარკვეული ვადით ჩამოაშორა რადიაციის გამოყენებასთან დაკავშირებულ სამედიცინო პროცედურებს.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, არსებული მონაცემები სამედიცინო პერსონალის რადიაციული უსაფრთხოების მონიტორინგის შესახებ საკმაოდ მწირია. და ის, რაც მოიპოვება, ბადებს გარკვეულ ეჭვებს, ხომ არ არის შემცირებული რეალურთან მიმართებით.

ასე მაგალითად, 23 ქვეყნის მონაცემების გათვალისწინებით მონიტორინგის ქვეშ მყოფი სამედიცინო პერსონალისათვის რუტინული დიაგნოსტიკური რადიოლოგიის საშუალო წლიური ეფექტური დოზა დაახლოებით შეადგენს 0.5 მზვ-ს, ინტერვენციული კარდიოლოგიისათვის საშუალო წლიური ეფექტური დოზა შეფასდა, როგორც 0.7 მზვ, ხოლო ზოგადოდ ინტერვენციული პროცედურებისთვის – როგორც 1.6 მზვ.

შეიძლება ითქვას, რომ თბილისის სხივური და ბირთვული მედიცინის ცენტრში ჩატარებული მონიტორინგი იმავე რიგის სიდიდეებს იძლევა, რასაც მსოფლიოს მასშტაბით განხორციელებული მონიტორინგი. თუმცა, ამ ცენტრის შედეგები მაინც ოდნავ მაღალია ტიპურთან შედარებით.

5. დასკვნა და რეკომენდაციები

ჩატარებული კვლევა და თემის გარშემო არსებული ახალი ლიტერატურის ანალიზი საშუალებას გვაძლევს შემდეგი დასკვნები ჩამოვაყალიბოთ.

- მედიცინაში როგორც დიაგნოსტიკური, ისე – თერაპიული მიზნებისათვის რადიაციის სულ უფრო მზარდი გამოყენების შესაბამისად იმატებს არამხოლოდ პაციენტების, არამედ თავად სამედიცინო პერსონალის დასახივებასთან დაკავშირებული რისკებიც, რომელთა შემცირებისა და თავიდან აცილების ღონისძიებათა შემუშავებას საფუძველად უნდა დაედოს სამედიცინო პერსონალის რადიაციული უსაფრთხოების მდგომარეობის შეფასება მისი დეტალური და სანდო მონიტორინგის მეშვეობით.
- თანამედროვე სამეცნიერო ლიტერატურის მომოხილვა აჩვენებს, რომ ხელმისაწვდომი მონაცემები სამედიცინო პერსონალის რადიაციული უსაფრთხოების მონიტორინგის შესახებ საკმაოდ მწირია. და ასეთი მონაცემების ნაწილი ბადებს გარკვეულ კითხვებს, ხომ არ არის შემცირებული რეალურთან მიმართებით.
- სამედიცინო პერსონალის (ექიმები, რეზიდენტები, ექთნები, სამედიცინო ფიზიკოსები და ტექნიკოსები) რადიაციული უსაფრთხოების დოზიმეტრული მონიტორინგი განხორციელებულია ერთი კონკრეტული სამედიცინო დაწესებულების, სხივური და ბირთვული მედიცინის ცენტრის – სბმც (თბილისი, საქართველო), მაგალითზე 2016 – 2020 წლების მონაცემებზე დაყრდნობით.
- ამ ცენტრის შესაბამისი განყოფილებების სამედიცინო პერსონალის მიერ წლიურად მიღებული მინიმალური, საშუალო და მაქსიმალური რადიაციული დოზები, შესაბამისად, აღმოჩნდა 0.056, 2.076 და 7.600 მზვ. ამრიგად, ეს მონიტორინგი იმავე რიგის სიდიდეებს იძლევა, რასაც სხვა, მსოფლიოს მასშტაბით განხორციელებული, მონიტორინგები. თუმცა, სბმც-ის შედეგები მაინც ოდნავ მაღალია ტიპიურთან შედარებით.

იმ სტანდარტულ რეკომენდაციებს, როგორებიცაა გამოსხივების წყაროდან მანძილის გაზრდა, დასახივების ქვეშ ყოფნის დროის შემცირება და რადიაციისაგან დამცავი ფარების გამოყენება, ჩვენი აზრით, სასურველია დაემატოს ნეიტრონული დოზიმეტრია, რადგანაც რადიაციული თერაპიები ჩვეულებრივ იყენებენ მაღალი ენერგიის გამა-გამოსხივებას, რასაც შეუძლია ხელი შეუწყოს ნეიტრონების წარმოქმნას.

გარდა ამისა, პერიოდულად უნდა ტარდებოდეს სამედიცინო პერსონალის გამოკითხვა, რათა დადგინდეს რამდენად სწორად იყენებენ ისინი დოზიმეტრებს.

მადლიერება

ავტორი დიდ მადლობას მოახსენებს მისი სამაგისტრო ნაშრომის რეცენზენტს, დოქტ. ლ. ჭელიძეს მაღალი შეფასებისა და რეცენზიაში გამოთქმული საყურადღებო შენიშვნებისათვის, რომლებიც უკლებლივ არის გათვალისწინებული წინამდებარე სტატიაში.

დამოწმებანი

- [1] P. Mc Coubrie. The Rules of Radiology, 2021, Cham, Springer Nature, 213 pp.
- [2] J. Le Heron, R. Padovani, I. Smith, R. Czarwinski. Radiation protection of medical staff. Eur. J. Radiol., 2010, 76, 1, 20-23.
- [3] R. Behzadmehr, M. Doostkami, Z. Sarchahi, L. Dinparast Saleh. R. Behzadmehr. Radiation protection among health care workers: Knowledge, attitude, practice, and

- clinical recommendations: A systematic review. *Rev. Environ. Health*, 2020, 36, 2, 223–234.
- [4] I. Erkan, A. Yarenoglu, E. H. Yukseloglu, H. C. Ulutin. The investigation of radiation safety awareness among healthcare workers in an education and research hospital. *Int. J. Radiat. Res.*, 2019, 17, 3, 455–461.
- [5] S. A. Tabish. *Radiation Safety in Hospitals*, 2016, Sher-i-Kashmir, Inst. Med. Sci., 62 pp. <https://www.researchgate.net/publication/303375772>
- [6] A. Barrett, J. Dobbs, S. Morris, T. Roques. *Practical Radiotherapy Planning*, 2009, London, Hodder Arnold, 468 pp.
- [7] IAEA Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. General Safety Requirements, Part 3, 2014, Vienna, IAEA, 436 pp.
- [8] ტექნიკური რეგლამენტის – „ინდივიდუალური მონიტორინგის განხორციელებისა და კონტროლის წესის“ დამტკიცების შესახებ, 2015 წლის 20 ივლისი, თბილისი, საქართველოს მთავრობის დადგენილება # 359, 9 გვ.
- [9] ტექნიკური რეგლამენტის – „მაიონებელი გამოსხივების წყაროებთან მოპყრობისადმი რადიაციული უსაფრთხოების ნორმები და ძირითადი მოთხოვნები“ დამტკიცების შესახებ, 2015 წლის 27 აგვისტო, თბილისი, საქართველოს მთავრობის დადგენილება # 450, 52 გვ.
- [10] ტექნიკური რეგლამენტის – „სამედიცინო დასახივების სფეროში რადიაციული უსაფრთხოების მოთხოვნების“ დამტკიცების შესახებ, 2016 წლის 7 ივლისი, თბილისი, საქართველოს მთავრობის დადგენილება # 317, 129 გვ.
- [11] Yu. B. Kurashvili, D. V. Visotskiy, R. P. Kuatbekov, K. S. Nikolaeva, I. O. Daironas, E. A. Shiliaev. Nuclear medicine: Current status. Global trends. In: *Abs. Int. Conf. Mod. Prob. Nucl. Eng. Nucl. Technol.*, 2021, Tashkent, Ins. Nucl. Phys., 25–26.
- [12] I. Baymuratova, E. Kh. Bozorov, Sh. E. Khojiev, M. E. Khojieva, D. A. Kalandarova. Nanotechnology in medicine. Global trends. In: *Abs. Int. Conf. Mod. Prob. Nucl. Eng. Nucl. Technol.*, 2021, Tashkent, Ins. Nucl. Phys., 221–223.
- [13] N. O. Sodikov, Sh. R. Malikov, U. T. Ashrapov, M. U. Alieva, M. N. Sodikov, F. N. Temirov, A. Zh. Ergashev. Nuclear medicine priority areas. Global trends. In: *Abs. Int. Conf. Mod. Prob. Nucl. Eng. Nucl. Technol.*, 2021, Tashkent, Ins. Nucl. Phys., 228–230.
- [14] E. Kh. Bozorov, L. Kh. Zoirova, Sh. E. Khojiev, M. E. Khojieva, D. A. Kalandarova. Use of modern innovative educational technologies intraining competitive medical physicists. In: *Abs. Int. Conf. Mod. Prob. Nucl. Eng. Nucl. Technol.*, 2021, Tashkent, Ins. Nucl. Phys., 213–215.
- [15] E. Kh. Bozorov, J. I. Khomidjonov, Sh. E. Khojiev, M. E. Khojieva, D. A. Kalandarova. Software in the teaching processes of medical physics. In: *Abs. Int. Conf. Mod. Prob. Nucl. Eng. Nucl. Technol.*, 2021, Tashkent, Ins. Nucl. Phys., 245–246.
- [16] I. Bredikhin. Construction of ionizing radiation control and measurement systems for NPP. In: *Abs. Int. Conf. Mod. Prob. Nucl. Eng. Nucl. Technol.*, 2021, Tashkent, Ins. Nucl. Phys., 247–247.
- [17] G. M. Allaberganova, U. Z. Sharafutdinov, M. A. Mustafaev, A. M. Muzafarov. Calculation of the total effective annual dose for uranium production personnel and its relationship with the radiation situation of the region. In: *Abs. Int. Conf. Mod. Prob. Nucl. Eng. Nucl. Technol.*, 2021, Tashkent, Ins. Nucl. Phys., 252–254.

- [18] M. D. Pyshkina, A. V. Vasilyev, E. I. Nazarov, A. A. Ekin. Neutron fields at nuclear research reactors. In: Abs. Int. Conf. Mod. Prob. Nucl. Eng. Nucl. Technol., 2021, Tashkent, Ins. Nucl. Phys., 267-268.
- [19] Yu. B. Kurashvili, D. V. Vysotski, V. V. Kascheev, V. K. Ivanov, S. P. Morozov, S. A. Ryzhov. Relevance of implementation of information systems for assessment, prediction and registration of medical risks in multiple X-ray and radiological examinations. In: Abs. Int. Conf. Mod. Prob. Nucl. Eng. Nucl. Technol., 2021, Tashkent, Ins. Nucl. Phys., 285-286.
- [20] <https://www.sciencedirect.com/topics/medicine-and-dentistry/iodine-131>
- [21] <https://ehs.umich.edu/wp-content/uploads/2016/04/Technetium-99m.pdf>
- [22] <https://www.nuclear-power.com/nuclear-engineering/radiation-dosimetry/radiation-dosimeter/thermoluminescent-dosimeter-tld/tld-principle-of-operation/>
- [23] https://www.radioactivity.eu.com/site/pages/OSL_Dosimeters.htm