

რადონით დასხივება და ფილტვის კიბო

მაგდა მეცხვარიშვილი¹; სამსონ ფალავა¹; კახა გორგაძე^{1,2}; შორენა დეკანოსიძე^{1,2}; ნათია ბერიაშვილი^{1,2}

¹საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინსტიტუტი „ტალდა“;

²საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საინჟინრო ფიზიკის დეპარტამენტი

აბსტრაქტი

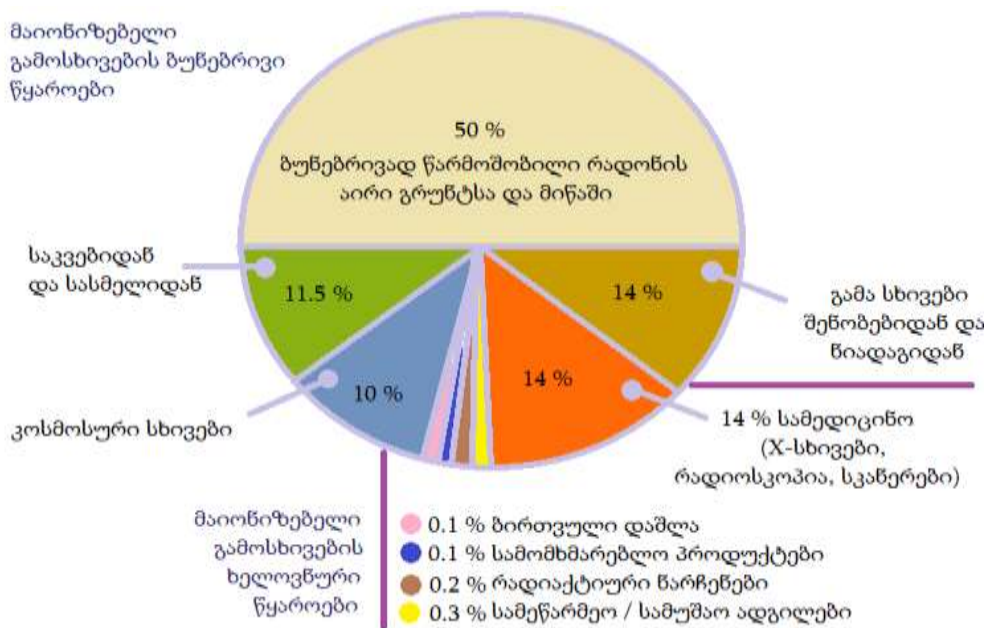
რადონი იწვევს ფილტვის კიბოთი დაავადებას და სიკვდილიანობის მაჩვენებელი ყოველწლიურად მაღალ ციფრებს აღწევს, რაც მას ფილტვის კიბოს მეორე ყველაზე მნიშვნელოვან მიზეზად აქცევს თამბაქოს მოხმარების შემდეგ. ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციამ (WHO) რადონი დაასახელა ფილტვის კიბოს გამომწვევ კანცეროგენულ ნივთიერებად. რადონი ბუნებრივი, რადიოაქტიური ნივთიერებაა, რომელიც ძირითადად გვხვდება ნიადაგში ან კლდეში. რადონის რადიოაქტიული დაშლის შედეგად მიღებული შვილობილი პროდუქტები სხეულში სასუნთქი გზებით ხვდება. სხეულში შეღწევისას ეს რადიოაქტიური ელემენტები ასხივებენ α -ნაწილაკებს, რომლებიც გავლენას ახდენენ ფილტვის ქსოვილზე, რაც ხანგრძლივი ზემოქმედებით შედეგად იწვევს ფილტვის კიბოს. ეპიდემიოლოგიურმა კვლევებმა პირველად გამოავლინა მაღალი კორელაცია ფილტვის კიბოს სიხშირესა და რადონის შვილობილი ელემენტების ზემოქმედებას შორის ევროპაში მაღაროელებში. ამის შემდეგ დაიწყო სახლებში რადონის ზემოქმედებისა და ფილტვის კიბოს შემთხვევების შესახებ მონაცემების და კვლევების შეგროვება. ბევრმა საერთაშორისო კვლევამ აჩვენა ფილტვის კიბოს რისკის თანაფარდობის ზრდა, როდესაც სახლის შიგნით რადონის კონცენტრაცია მაღალია.

საკვანძო სიტყვები: მაიონიზებული გამოსხივება, რადონი, ფილტვის კიბო, იზოტოპები, A კლასის კანცეროგენი, ბაზალური და სკვრეტული უჯრედები.

შესავალი

მაიონიზებული რადიაციით დასხივების უმეტესი წილი, საზოგადოდ, განპირობებულია ბუნებრივი წყაროებით [1, 2]. ბუნებრივი ფონური რადიაცია, საშუალოდ, განაპირობებს დაახლოებით 2-3 მზვ/წ-ის ტოლ წლიურ ეფექტურ დოზას, თუმცა ეს სიდიდე ძალიან ფართო დიაპაზონში მერყეობს დედამიწის სხვადასხვა რეგიონებს შორის და ძნელი არაა ისეთი ტერიტორიების აღმოჩენა, სადაც დასხივების დონე 10-ჯერაც კი აღემატება საშუალო მნიშვნელობას, რისი მიზეზიც უმეტესწილად რადიოაქტიური აირის – რადონის მაღალი კონცენტრაციაა. საზოგადოდ, ინდივიდის საშუალო წლიური დასხივების უდიდესი ნაწილი (დაახლოებით 50%) რადონით და მისი დაშლის პროდუქტებით არის განპირობებული (სურ. 1).

მიმდინარეობს სამეცნიერო კვლევები, რომელთა მიზანს წარმოადგენს რადონით დასხივებასა და ფილტვის კიბოს შორის დამოკიდებულების დადგენა, მით უმეტეს, თუ გავითვალისწინებთ, რომ ფილტვის კიბო აღიარებულია, როგორც კიბოს ერთერთი ყველაზე გავრცელებული და ფატალური ფორმა, რომლითაც ყოველწლიურად 1.2 მილიონი ადამიანი ავადდება მსოფლიოში.

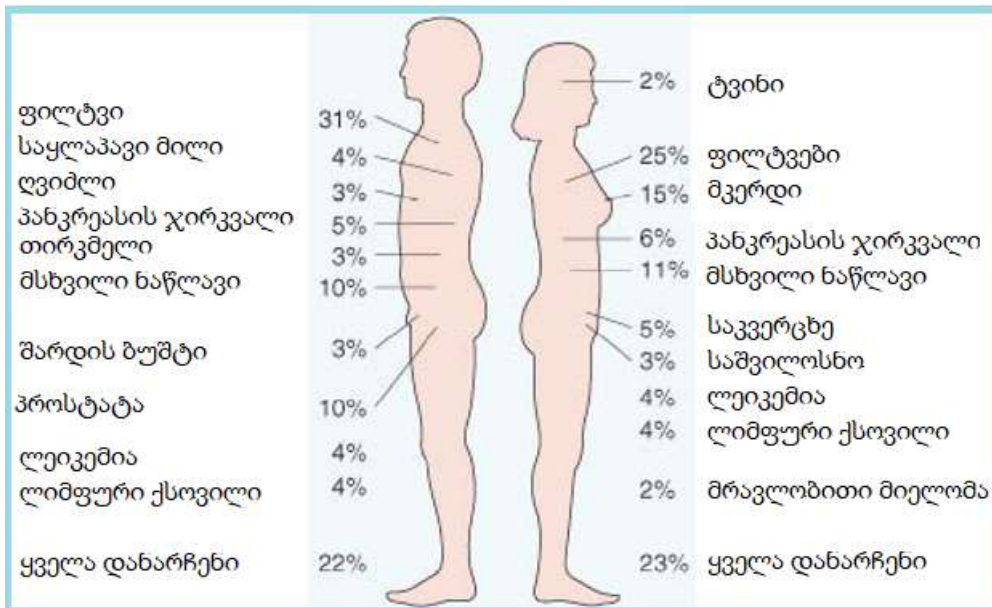


სურ. 1 მაიონიზებული გამოსხივების ბუნებრივი და ხელოვნური წყაროები.

ფილტვის კიბოს ორი ძირითადი ტიპია ცნობილი – “non-small cell cancer” და “small cell cancer” ცნობილია, რომ “non-small cell cancer”, რომელიც ფილტვის კიბოს ყველაზე გავრცელებულ ტიპს წარმოადგენს, უფრო ნელა ვრცელდება ორგანიზმის სხვადასხვა ნაწილებში, ვიდრე “small cell cancer”, რომელიც განაპირობებს ფილტვის კიბოთი დაავადების ყველა შემთხვევის არაუმეტეს 20%-ს [3, 4].

ფილტვის კიბოს ყველაზე მნიშვნელოვანი მიზეზი თამბაქოს მოხმარებაა. ზოგიერთი შეფასების თანახმად, აშშ-ში ფილტვის კიბოთი დაავადების შემთხვევათა დაახლოებით 90% სიგარეტის მოხმარების შედეგია [5]. თუმცა, აგრეთვე არსებობს სხვა რისკ-ფაქტორებიც. აშშ-ის

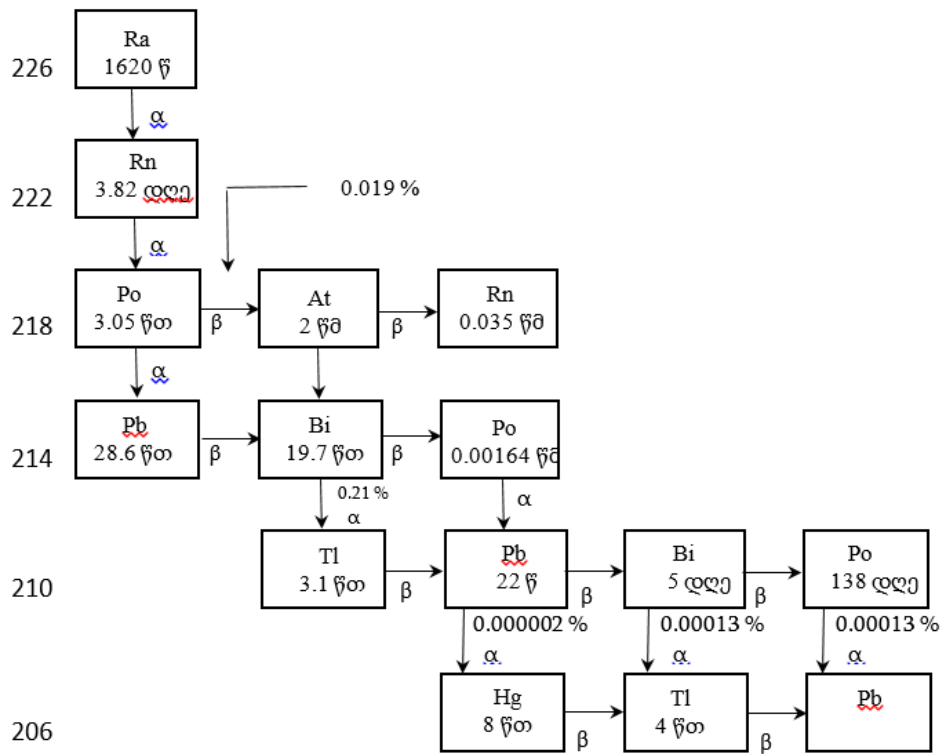
მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის მაიონიზებული გამოსხივების ბიოლოგიური ეფექტების შემსწავლელი კომიტეტის (BEIR VI) მიერ გამოქვეყნებული რისკის შეფასებები (სურ. 2) მიუთითებენ, რომ რადონი წარმოადგენს ფილტვის კიბოს რიგით მეორე ყველაზე მნიშვნელოვან მიზეზს თამბაქოს მოხმარების შემდეგ [6].



სურ. 2 სავარაუდო კარცინომა ადგილებისა და სქესის მიხედვით პროცენტულად

1. რადონი

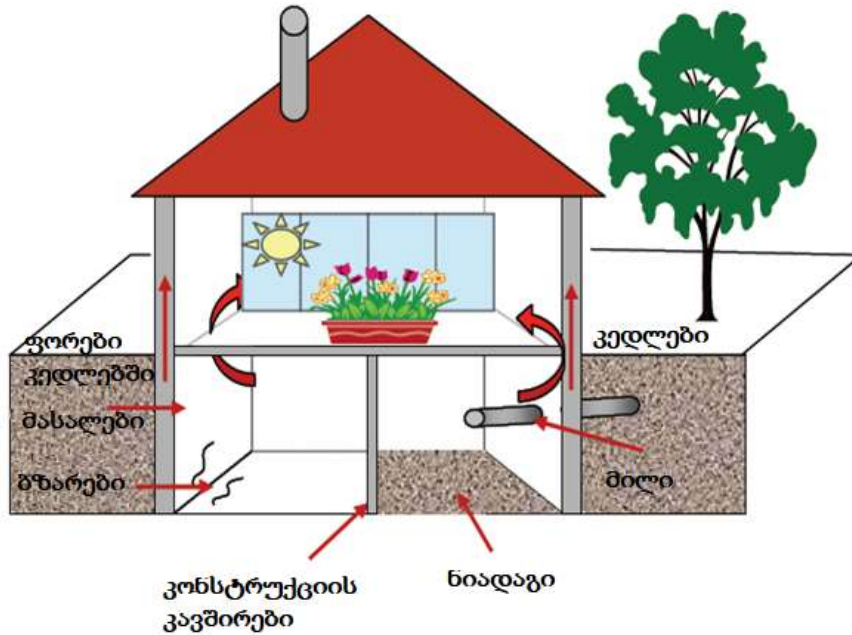
რადონი (Ra-222) წარმოადგენს ფერის და სუნის არმქონე, ალფა-რადიოაქტიურ ინერტულ აირს, რომლის ნახევარდაშლის პერიოდი არის 3.8 დღე. იგი წარმოიქმნება რადიუმ-226-ის - ურანის ბუნებრივი რადიოაქტიური ოჯახის მეხუთე წევრის დაშლის შედეგად (სურ. 3). რადონი მუდმივად გამოიყოფა ატმოსფეროში ნიადაგებიდან და ქანებიდან, რომლებიც ჩვეულებრივ ძალიან მცირე რაოდენობებით შეიცავენ ურანსა და რადიუმს.



სურ. 3 რადონის დაშლის მოკლებერიოდანი პროდუქტები

ატმოსფერულ ჰაერში რადონის კონცენტრაციები საზოგადოდ ძალიან დაბალია, 4-19 ბკ/მ³-ის დიაპაზონის ფარგლებში მერყეობს [7]. მაგრამ ჩაკეტილ სივრცეებში რადონი შესაძლოა დაგროვდეს მნიშვნელოვან, ზოგჯერ ძალიან მაღალ დონეებამდე კი. უკანასკნელი ათწლეულების მანძილზე ჩატარებულმა მრავალრიცხოვანმა კვლევებმა ცხადად აჩვენეს, რომ შენობებს შიგნით არსებულ დახურულ სათავსოებში სუსტი ვენტილაციის გამო რადონის კონცენტრაციებმა შესაძლოა მიაღწიონ შესამჩნევ დონეებს და, შედეგად, გამოიწვიონ სახლებში მცხოვრები ადამიანების მნიშვნელოვანი შინაგანი დასახივება მაიონიზებული რადიაციით [8]. გამოქვეყნებული მონაცემები მიუთითებენ, რომ საცხოვრებელ ბინებში არსებული რადონის დონეების ვარიაციების დიაპაზონი შესაძლოა სიდიდის რამდენიმე რიგსაც კი აღწევდეს [8, 9, 10].

შენობის შიგნით ჰაერში რადონის მაღალი კონცენტრაციების ძირითადი მიზეზი ჩვეულებრივ ნიადაგიდან ამ აირის ემანაციაა, თუმცა გარკვეულ გარემოებებში რადიუმის მაღალი შემცველობის სამშენებლო მასალები და წყალში გახსნილი რადონი ასევე შესაძლოა დასახივების მნიშვნელოვან წყაროებს წარმოადგენდნენ (სურ 4).



სურ. 4 რადონის აირის ემინაცია ნიადაგიდან.

2. ფილტვის კიბო

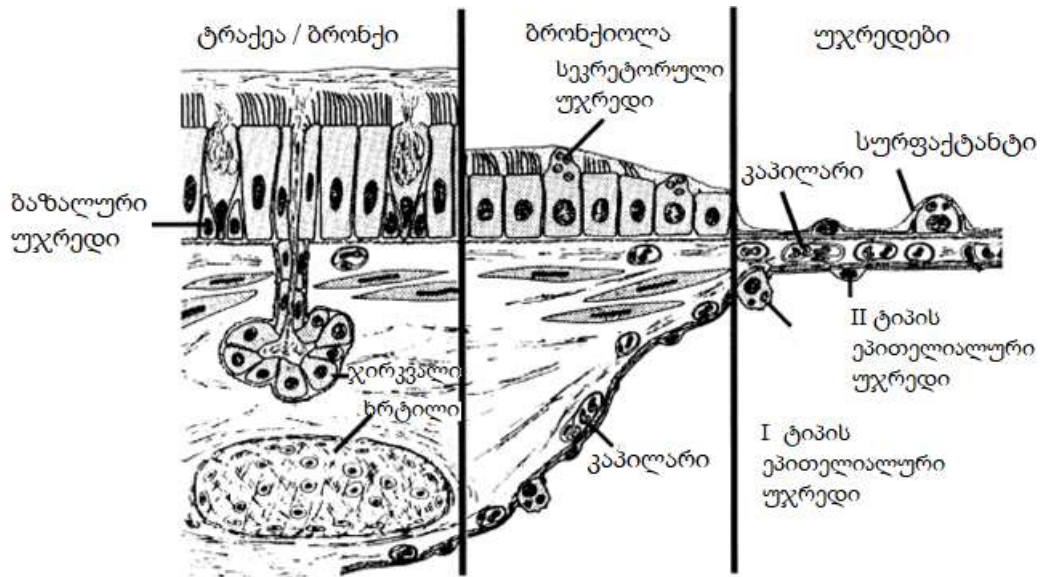
რადონის დაშლის მოკლეპერიოდიანი პროდუქტებიდან რამდენიმე – Po-218, Po-214, Pb-214 და სხვ. – ასევე ალფა-აქტიურია.

საზოგადოდ, ნორმალურ პირობებში რადონით და მისი დაშლის პროდუქტებით განპირობებული დოზის უდიდესი ნაწილი ფილტვს გადაეცემა. სხვა ორგანოების და ქსოვილების მიერ შთანთქმული დოზები გაცილებით მცირეა [11]. შესაბამისად, რადონის და მისი დაშლის პროდუქტების რადიოლოგიური ზემოქმედების განხილვისას ჩვეულებრივ უდიდესი ყურადღება ფილტვის კიბოს რისკს ეთმობა.

ნორმალური სუნთქვის პროცესის დროს სასუნთქ გზებში რადონის მოხვედრის შემთხვევაში აირი ხვდება ფილტვში, მაგრამ უმეტესი ნაწილი ამოსუნთქვის შედეგად გამოიყოფა უკან. თუმცა, რადონის დაშლის მოკლეპერიოდიანი პროდუქტები, რომლებიც მყარი ელემენტების იზოტოპებს წარმოადგენენ. უმეტესწილად ილექებიან ბრონქულ ეპითელიუმზე, იშლებიან და მათ მიერ ხდება რესპირატორული ტრაქტის ზედაპირზე არსებული უჯრედების დასხივება ძლიერად მაიონიზებელი ალფა-რადიაციით.

უკანასკნელი ათწლეულების მანძილზე მათემატიკური მოდელირების მეთოდების გამოყენებით წარმოებული კვლევები მიუთითებენ, რომ ჩასუნთქული რადონის დაშლის პროდუქტებით განპირობებული დოზები არაერთგვაროვნადაა განაწილებული რესპირატორულ ტრაქტში, ყველაზე მაღალი მაჩვენებლები ბრონქიალურ და ბრონქიოლარულ სასუნთქ გზებზე მოდის [12].

ითვლება, რომ 10-50 მკმ-ის სიღრმეზე განთავსებული ბაზალური და სეკრეტული უჯრედები წარმოადგენენ ყველაზე სავარაუდო სამიზნე უჯრედებს, რომლებიდანაც ფილტვის კიბო ვითარდება (სურ. 5) [13]. Po-214 და Po-218-ის დაშლის შედეგად გამოსხივებული ალფა-ნაწილაკების განარბენი ქსოვილში 48-დან 71 მკმ-მდეა [12]. აქედან გამომდინარე, მათ გააჩნიათ პოტენციალი დააზიანონ დნმ-ის მოლეკულები ამ უჯრედებში და შედეგად გამოიწვიონ შესაძლო ავთვისებიანი ცვლილებები, განსაკუთრებით თუ გავითვალისწინებთ ე.წ. “bystander” მუტაგენეზის ეფექტს, რამაც შესაძლოა მნიშვნელოვნად გაზარდოს რისკი [14].



სურ. 5 სასუნთქი გზის კედლების სტრუქტურა

3. რადონით განპირობებული დასახივება

რადონით განპირობებული დასახივების კანცეროგენული ეფექტის პირველი დოკუმენტურად დადასტურებული ფაქტები აღრიცხული იქნა უკვე მე-16 საუკუნეში. კერძოდ, გერმანელმა სწავლულმა გეორგიუს აგრიკოლამ (1495-1555 წწ.) თავის ცნობილ წიგნში “De Re Metallica” აღწერა მაღალი სიკვდილიანობის ფაქტი მემდაროელებს შორის კარპატების მთიან რეგიონში. 300-ზე მეტი წლის შემდეგ ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენეს, რომ ამის მიზეზი ყველაზე სავარაუდოდ ფილტვის კიბო უნდა ყოფილიყო [15].

მე-20 საუკუნის პირველ ათწლეულებში მიწისქვეშა მადაროებში რადონის მაღალი დონეების აღმოჩენამ და 1950-იან და 1960-იან წლებში რადონით დასახივებულ მემდაროელებს შორის ჩატარებულმა ეპიდემიოლოგიურმა კვლევებმა დაადასტურეს კავშირი რადონით დასახივებასა და ფილტვის კიბოს შორის [9,16].

ამ ეპიდემიოლოგიური ფაქტების, ისევე როგორც უჯრედის დონეზე მუტაგენეზის კვლევებისა და ცხოველებზე ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგების საფუძველზე

მსოფლიო ჯანდაცვის ორგანიზაციის კიბოს კვლევის საერთაშორისო სააგენტოს მიერ რადონი კლასიფიცირებული იქნა, როგორც A კლასის კანცეროგენი [17,18].

4. ეპიდემიოლოგიური კვლევები

ჩატარებული ეპიდემიოლოგიური კვლევების მიზანს შეადგენს საცხოვრებელ შენობებში არსებული რადონით განპირობებული ფილტვის კიბოს რისკის პირდაპირი შეფასებები. ჩვეულებრივ ორი განსახვავებული ტიპის ეპიდემიოლოგიური კვლევები ტარდება, კერძოდ, ეკოლოგიური კვლევები და ე.წ. “შემთხვევა-კონტროლის” (case-control) კვლევები.

ეკოლოგიური კვლევების ფარგლებში წარმოებს რადონის საშუალო დონეებისა და ფილტვის კიბოს საშუალო სიხშირეების ვარიაციებს შორის გეოგრაფიული კორელაციების შესწავლა. უმეტეს შემთხვევებში ეკოლოგიური კვლევების შედეგები წინააღმდეგობრივია და ისეთი ინდივიდუალური მონაცემების გარეშე, როგორცაა რადონის კონკრეტული დონეები ან ფილტვის კიბოს გამომწვევი სხვა ისეთი მნიშვნელოვანი ფაქტორების არსებული კანონზომიერებები, როგორცაა, მაგ., თამბაქოს მოხმარება, ადექვატურად არ ასახავენ რეალურ უთიერთკავშირს. კოენის მიერ ჩატარებული ერთერთი ყველაზე მასშტაბური ეკოლოგიური კვლევის შედეგებმა უარყოფითი კორელაცია აჩვენეს რადონის საშუალო დონესა და ფილტვის კიბოთი დაავადების ასაკის მიხედვით შესწორებულ სიხშირეს შორის. ამის ერთერთი მიზეზი შესაძლოა იყოს უარყოფითი კორელაცია თამბაქოს მოხმარების სიხშირესა და რადონის დონეებს შორის გამოკვლეულ ტერიტორიებზე [6].

“შემთხვევა-კონტროლის” კვლევების დროს ხდება ფილტვის კიბოთი დაავადებული ინდივიდების (ე.წ. “ფილტვის კიბოს შემთხვევების”) საცხოვრებელ ბინებში გაზომილი რადონის დონეების შედარება რადონის დონეებთან იმ საკონტროლო ინდივიდების სახლებში, ვინც არაა დაავადებული ამ სენით [19, 20, 21]. ამგვარი კვლევების ძირითადი შემზღუდავი ფაქტორია წარსული დასახივებების შეფასების სიზუსტე.

დასკვნა

უკანასკნელი ათწლეულების განმავლობაში მნიშვნელოვანი ძალისხმევა იქნა მიმართული რადონით დასახივებასა და ფილტვის კიბოს შორის კავშირის კვლევის მიზნით და არაერთი მეცნიერული მიღწევა განხორციელდა ამ პრობლემის ირგვლივ არსებული ზოგიერთი განუზღვრელობის შემცირების თვალსაზრისით [22, 23].

ექსტრაპოლირების გზით მიღებული რისკის შეფასებების საფუძველზე მიღებული მონაცემები მიუთითებენ, რომ მრავალ ქვეყანაში რადონი შესაძლოა განაპირობებდეს ფილტვის კიბოს შემთხვევების არსებით რაოდენობას და წარმოადგენდეს ფილტვის კიბოს მნიშვნელობის მიხედვით მეორე ძირითად მიზეზს თამბაქოს მოხმარების შემდეგ.

1. R Wakeford, M Hauptmann The risk of cancer following high, and very high, doses of ionising radiation Journal of Radiological Protection, 42 (2), 2022, 020518
2. UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation, 2000;
3. American Cancer Society. Cancer Facts & Figures 2020.;
4. American Cancer Societ. Cancer Facts and Figures 2023. Last accessed January 13, 2023.
5. Alberg A.J., Samet J. Epidemiology of Lung Cancer. *Chest*. Vol. 123, January 2003;
6. EPA Assessment of Risks from Radon in Homes, 2003;
7. Eisenbud M., Gesell T. Environmental Radioactivity. 4th Ed. 1997;
8. Organo C. et al. High Radon Concentrations in a House near Castleisland, County Kerry (Ireland) – Identification, Remediation and Post-Remediation. *Journal of Radiological Protection*, Vol. 24, pp.107-120, 2004;
9. Darby S., Hill D., Doll R. Radon: A Likely Carcinogen at All Exposures. *Annals of Oncology*, Vol. 12, pp. 1341-1351, 2001;
10. Metskhvarishvili M.R., Pagava S.V., Gorgadze K.M., Dekanosidze S.V., Kalandadze I.G., Beridze M.G., Beriashvili N.Z. Determination of radon concentration in Mtatsminda districts of Tbilisi. *Journal of Radiobiology and Radiation Safety*. Vol.2, No3, 2022
11. Kendall G.M., Smith T.J. Doses to Organs and Tissues from Radon and its Decay Products. *Journal of Radiological Protection*, Vol. 22, pp. 389-406, 2002;
12. Puskin J. S., James A.C. Radon Exposure Assessment and Dosimetry Applied to Epidemiology and Risk Estimation. *Radiation Research*, Vol. 166, pp. 193-208, 2006;
13. Böhm R., Nikomedova D., Holy K. Use of Various Microdosimetric Models for the Prediction of Radon Induced Damage in Human Lungs. *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 104, No 2, pp. 127-137, 2003;
14. Samet J.M. Residential Radon and Lung Cancer: End of the Story? *J. Toxicology and Environmental Health A*, Vol. 69, pp. 527-531, 2006;
15. Darby S.C., Hill D.C. Health Effects of Residential Radon: A European Perspective at the End of 2002. *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 104, No 4, pp. 321-329, 2003;
16. IARC. Man Made Mineral Fibers and Radon, 1988;
17. IARC Working Group, Ionizing Radiation, Part2: Some Internally Deposited Radionuclides, 2001;
18. Chen J. Estimated Risks of Radon-Induced Lung Cancer for Different Exposure Profiles Based on the New EPA Model. *Health Physics*, Vol. 88, No 4, pp. 323-333, 2005;
19. Neuberger J.S., Gesell F.G. Residential Radon Exposure and Lung Cancer: Risk in Non-Smokers. *Health Physics*, Vol. 83, No 1, pp. 1-18, 2002;
20. Kreuzer M. et al. Lung Cancer in Lifetime Nonsmoking Men – Results of a Case-Control Study in Germany, *British Journal of Cancer*, Vol. 84, No 1, pp. 134-140, 2001;

21. Enflo A. Lung Cancer Risks fro Residential Radon among Smokers and Non-Smokers. *Journal of Radiological Protection*, Vol. 22, pp.A95-A99, 2002;
22. Ji Young Yoon, Jung-Dong Lee, So Won Joo & Dae Ryong Kang. Indoor radon exposure and lung cancer: a review of ecological studies. *Annals of Occupational and Environmental Medicine* V. 28, No. 15 (2016);
23. Christopher L. Rääf , Martin Tondel, Mats Isaksson, Robert Wälinder, Average uranium bedrock concentration in Swedish municipalities predicts male lung cancer incidence rate when adjusted for smoking prevalence: Indication of a cumulative radon induced detriment. *Science of The Total Environment*. Volume 855, 10 January 2023, 158899

Radon exposure and lung cancer

Magda Metskhvarishvili¹; Samson Pagava¹; Kakha Gorgadze^{1,2}; Shorena Dekanosidze^{1,2}; Natia Beriashvili^{1,2}

¹ “Talga” Institute of Georgian Technical University

² Georgian Technical University, Faculty of Informatics and Control Systems.

Abstract

Radon causes lung cancer and the death rate is reaching high numbers every year, making it the second most important cause of lung cancer after tobacco use. The World Health Organization (WHO) has classified radon as a carcinogenic substance that causes lung cancer. Radon is a naturally occurring, radioactive substance found mostly in soil or rock. The products obtained as a result of radioactive decay of radon are entering into the body through the respiratory tract. After, these radioactive elements are emitting α -particles that affect the lung tissue, resulting the lung cancer after long-term exposure. Epidemiological studies first revealed a high correlation between the incidence of lung cancer and exposure to radon-related elements among miners in Europe. After that, they began collecting the data and investigations about radon exposure in homes and lung cancer incidence. Many international studies have shown an increase in the risk ratio of lung cancer when indoor radon concentrations are high.

Key words: *Ionizing radiation; Radon; Lung cancer; Isotopes; A class carcinogen; Basal and secretory cells.*