

ЛЕКЦ, ТОЙМ, ЗӨВЛӨГӨӨ

Орон байрны агаар дахь радон ба уушгины хорт хавдар

(Хэвлэлийн тойм)

Нямсүрэн Л.^{1,3}, Эрдэнэхүү Н.², Бурмаажав Б.³

¹Нийгмийн эрүүл мэндийн үндэсний төв

²Хавдар судлалын үндэсний төв

³"Ач" Анагаах ухааны их сургууль

e-mail: nyamsuren.ncph@gmail.com

Abstract

Residential radon and lung cancer

Nyamsuren L.¹, Erdenekhuu N.², Burmaajav B.³

¹National center for public health

²National Cancer Center of Mongolia

³Ach medical university

e-mail: nyamsuren.ncph@gmail.com

Radon is a radioactive gas that has no smell, colour or taste. Radon is produced from the natural radioactive decay of uranium, which is found in all rocks and soils. Radon can also be found in water. Outdoors, radon quickly dilutes to very low concentrations and is generally not a problem. The average outdoor radon level varies from 5 Bq/m³ to 15 Bq/m³. However, radon concentrations are higher indoors and in areas with minimal ventilation, with highest levels found in places like mines, caves and water treatment facilities. In buildings such as homes, schools, offices, radon levels can vary substantially from 10 Bq/m³ to more than 10 000 Bq/m³.

The effects of residential radon on human health have been studied worldwide since the 1980s. In addition, studies conducted in Europe, North America, and China have proven that even radon levels in dwellings below the acceptable level can pose long-term risks to residents health and contribute to the development of lung cancer. Relying upon the average level of radon and the prevalence of cigarette smoking in the country, radon causes 3-14% of the total incidence of lung cancer. An increase of 100 Bq/m³ in long time average radon concentration increases the risk of lung cancer by approximately 16%, which is considered that there is a linear relationship between radon concentration and lung cancer.

Key words: radon, lung cancer, smoke, indoor

Рр. 48-55, References 50

Радоны тархалт, эх үүсвэр:

Радон нь ураны задралаас үүсдэг, өнгө, үнэр, амтгүй цацраг идэвхт хий бөгөөд байгалийн чулуулаг, хөрс, усанд агуулагддаг. Гадаад орчин дахь радоны агууламж харьцангуй бага байдаг бөгөөд дунджаар 5-15 бк/м³ хооронд хэлбэлздэг. Гэсэн хэдий ч радоны агууламж нь уурхай, агуй, ус цэвэрлэх байгууламж зэрэг агааржуулалт хангалтгүй дотоод орчинд хамгийн их байдаг. [1, 2].

Радон хий нь агаар, гүний ус, гадаргын усанд чөлөөтэй шилждэг. Гэр доторх радон хийн нэвчилтийн гол эх үүсвэр нь хөрснөөс барилга байгууламжруу ордог. Нүүрс болон бусад

чулуужсан түлшийг шатаахад радон хий ялгардаг. Радон нь хөрс болон яндангаас гадаад орчны агаарт тодорхой хэмжээгээр ялгардаг хэдий ч энэ нь дотоод орчин дахь радоны агууламжтай харьцуулахад доогуур түвшинд байдаг [3].

Боржин чулуу, зарим шавар нь уран, радийн бодисоор баялаг бөгөөд тэдгээр нь радон болж задардаг. Түүнчлэн гэр доторх радоны гол эх үүсвэр нь барилгын доорхи газрын хөрснөөс нэвчиж байдаг. Радон нь уранаар баялаг геологийн бүс нутагт усны шахуурга, ерөмдсөн худаг зэрэг гүний усны эх үүсвэрт уусаж, хуримтлагдаж болно. Усанд агуулагдах радон

нь шүршүүрт орох, угаалга хийх зэрэг өдөр тутмын усны хэрэглээний үед агаарт ууршин цацагддаг [4].

Радон нь газартай шүргэлцсэн шал эсвэл хананы нүх сүвээр дамжин газраас барилга руу нэвчин ордог [5].

Олон судалгааны ажлын тайланд радон нь ажлын байр, рашаан сувилал, агуй болон агааржуулалт багатай байшин, барилга болон газрын доорхи ус зэрэгт агуулагддаг [6]. Их Британи улсад байшин болон газрын хөрсний хийн өндөр агууламжтай радоны агууламж нь а) уран эсвэл радийн агууламж өндөртэй чулуулаг, өгөршлийн бүтээгдэхүүн, б) ус нэвчдэг чулуулаг, тэдгээрийн өгөршлийн бүтээгдэхүүнтэй холбоотой байдаг [7].

Ураны гүний уурхайнуудад янз бүрийн эх үүсвэрээс радон ялгарах нь хүдрийн агуулга, сүвэрхэг чанар, ширхэгийн хэмжээ, чийгийн агууламж зэрэг хэд хэдэн хүчин зүйлээс хамаардаг [8]. Агаар дахь Rn-222 концентрацид янз бүрийн хүчин зүйл нөлөөлдөг. Үүнд: газрын бүрхэвч (жишээ нь, хучилт, барилга байгууламж, ургамал), газраас дээшхи өндөр буюу түвшин; хөрсний сүвэрхэг чанар, үр тариа, температур, атмосферийн даралт, хөрсний чийг, хур тунадас, цасан бүрхүүл, агаар мандлын нөхцөл ба улирал нөлөөлдөг. Дэлхийн хэмжээнд газрын түвшинд радоны агууламж намар, өвлийн эхэн үед хамгийн их, хаврын улиралд хамгийн бага байдаг. Хүний үйл ажиллагаа нь гадаад орчинтой харьцуулахад дотоод орчны радоны агууламжийг нэмэгдүүлэх эсвэл өөрчлөх боломжтой юм [9, 10, 11].

Гадаад болон дотоод орчны агаар, хөрсний агаар, гүний ус зэрэгт радоны агууламж харилцан адилгүй байдаг. Гаднах агаар 0.1 pCi/L-ээс 30 pCi/L хооронд хэлбэлздэг ч дунджаар 0.2 pCi/L орчим байх магадлалтай. Харин дотоод орчны агаар дахь радон нь 1 pCi/L-ээс 3000 pCi/L хооронд хэлбэлздэг ч дунджаар 1-2 pCi/L хооронд байдаг. Хөрсний агаар дахь радон (хөрсний нүх сүвийг эзэлдэг агаар) 20 эсвэл 30 pCi/L-ээс 100,000 pCi/L-ээс дээш хэлбэлздэг. АНУ-ын ихэнх хөрс нь нэг литр хөрсний агаарт 200-2000 pCi радон агуулдаг. Гүний усанд ууссан радоны хэмжээ 100-аас 3 сая pCi/L хооронд хэлбэлздэг. Радон нь хий учраас чулуулаг, хөрсөн дэх хатуу бодист тогтсон уран болон радигаас илүү хөдөлгөөнтэй байдаг. Радон нь чулуулгийн ан цав, хөрсний ширхэг хоорондын нүх сүвээр амархан дамжин тархдаг [12].

Чулуулгийн нэвчилт, хөрсний сүвэрхэг чанар, геологийн бүтэц, газар зүйн байдал зэрэг орон

нутгийн геологийн онцлог нь радоныг дамжуулах, хуримтлуулахад шууд нөлөөлдөг [13, 14]. Эдгээр хүчин зүйлүүд нь харилцан адилгүй нөлөөлж, радоны тархалт, концентрацийн янз бүрийн хэлбэрийг бий болгодог [15]. Иймээс эрсдэл өндөртэй бүсүүдийг тодорхойлж, хамгаалах арга хэмжээг хэрэгжүүлэхэд анхаарах хэрэгтэй [16].

Дотоод орчин дахь радоны агууламж:

Орон сууц, сургууль, оффис зэрэг барилга байгууламжид радоны түвшин 10-10000 бк/м³ хүртэл хэлбэлздэг. Радоны түвшин ихэвчлэн барилга байгууламжийн подвал, зоорь, газартай харьцах орон зайд илүү өндөр байдаг хэдий ч доод давхраас дээш их хэмжээний радон нэвтрэн ордог. Радоны агууламж нь зэргэлдээх барилгуудын хооронд, түүнчлэн барилга доторх өдрөөс өдөрт, цагаас цагт ялгаатай байдаг [1].

АНУ-д хийсэн судалгаагаар иргэд, олон нийт нь радоны талаар мэдлэгтэй хэдий ч амьдарч буй орон байрандаа радоны шинжилгээ хийлгэсэн хүмүүсийн эзлэх хувь бага хэвээр байгаа бөгөөд судалгаанд хамрагдагсдын 3-15% байна. Үүнд өрхийн орлого, боловсролын түвшин, хотжилт, эмэгтэйчүүд, байшин шинээр өмчлөх, эрүүл мэндийн асуудлаар, радоны талаарх ойлголт, радоны эрсдэлтэй бүс нутагт амьдардаг, эмчийн зөвлөгөө зэрэг олон хүчин зүйлс нөлөөлдөг [17].

Радон нь битүү орон зайд, байшинд хуримтлагддаг тул орон сууцны радонд өртөх нь ихээхэн байж болох ч Австралид бусад улс орныхоос бага байдаг. Тухайлбал ихэнх улс орнуудад орон байрны агаар дахь радоны агууламж 1-ээс 400 бк/м³-ээс дээш байдаг хэдий ч Австрали улсын орон сууцны радоны дундаж түвшин 1 куб метрт 11 беккерель (бк/м³) байдаг [18, 19].

Судлаач Abbey Matimba Maheso нарын Өмнөд африк улсад хийсэн судалгааны дүнд хуучин барилгуудын доторх радоны дундаж агууламж 39 ± 34 бк/м³, хамгийн их утга нь 144 бк/м³ байсан бол шинэ барилгуудад дундаж агууламж нь 24 ± 26 бк/м³, хамгийн их утга нь 84 бк/м³ байв [20].

Орон сууцны барилгын материалын үндсэн түүхий эд болох шавар, шохой нь тодорхой хэмжээний байгалийн цацраг идэвхт элементийг зайлшгүй агуулна. Уг байгалийн цацраг идэвхт элементийн гол төлөөлөл бол уран, тори бүлгийн элементийн задралын дүнд үүсдэг радоны изотопууд (Rn-220, Rn-222) юм [21].

Барилгын материалууд нь барилга байгууламж дахь радоны гол эх үүсвэр болдог хэдий ч энэ нь газрын царцдас, гүний усны агууламжтай харьцуулахад харьцангуй бага нөлөөлдөг. Барилгын материал нь барилгад ялгарах радоны хэмжээг 30-50%-иар нэмэгдүүлэх боломжтой байдаг бөгөөд радон ялгаруулах чадвараар бетон хамгийн их, тоосго нь хамгийн бага байдаг [22,23,24].

Тамхи татдаг хүмүүсийн амьдарч буй орон байранд радоны агууламж нь тамхи татдаггүй хүмүүстэй харьцуулахад өндөр байсан бөгөөд радоны агууламж нь тамхины тоо, тамхи татах хугацаатай хамааралтай байв [25].

Судлаач Samaneh Shahsavani нарын 2019 онд Иран улсад хийсэн судалгаагаар 15-аас дээш жилийн настай хуучин барилгын дотоод орчны радоны агууламж нь шинэ барилгуудтай (15-аас доош жилийн насжилттай) харьцуулахад их байсан ч ялгаа нь статистикийн хувьд ач холбогдолгүй байв. Харин барилгад анцав үүсэх, радоны агууламж нэмэгдэх хоёрын хоорондын хамаарал ажиглагдсан байна. Тухайлбал хана, дээвэр нь хагарч цуурсан барилгуудад радоны агууламж бусадтай харьцуулахад харьцангуй өндөр байв. Түүнчлэн радоны дундаж агууламж будагтай болон будаггүй барилгад 32.68 ба 23.47 бк/м³ байв. Үр дүн нь барилгын ханан дахь будаг болон радоны агууламжийн хооронд мэдэгдэхүйц хамааралтай ($p=0.047$) байв [26].

Язд болон Испанид хийсэн судалгааны үрдүнгээр радоны агууламж нь барилгын насжилттай ихээхэн хамааралтай болохыг харуулсан. Энэ нь барилгад ашигласан материалын төрөлтэй холбоотой байж болно. Ихэнх шинэ барилгууд нь бетоноор баригдсан бөгөөд энэ нь радоныг барилгын орчинд амархан нэвтрүүлэхгүй. Гэсэн хэдий ч ихэнх хуучин барилгуудыг тоосго, шавраар барьсан бөгөөд тэдгээр нь барилга руу радон ялгаруулдаг нүх сүв ихтэй байдаг. Түүнчлэн хуучин барилгуудын хананд ихэвчлэн гипсэн шохой агуулагддаг бөгөөд энэ нь радоны эх үүсвэр болох харьцангуй их хэмжээний ради агуулдаг [27, 28, 29].

Радон нь 9.73 кг/м³ нягттай (агаараас хүнд) ба улмаар доошоо шилжих хандлагатай байдаг. Тиймээс газар доорх болон доод давхарт радоны агууламж бусад давхруудтай харьцуулахад өндөр байдаг [27].

Канад улсад орон байрны дотоод орчин дахь радоны агууламжийг 200 бк/м³ хүртэлх хэмжээтэй байхаар удирдамжид тусгасан байдаг [30].

Paballo M. Moshupya нарын Өмнөд Африк улсад хийсэн судалгаагаар дотоод орчин дахь радоны агууламж улирлаас хамаарч ялгаатай тодорхойлогдсон ба зуны улиралд дунджаар 29 бк/м³, хамгийн их утга нь 71 бк/м³, өвлийн улиралд дунджаар 46 бк/м³, хамгийн их утга нь 124 бк/м³ тодорхойлогдсон байна [31].

Судлаач Б.Эрдэв, Б.Мөнхцэцэг нар (1999-2002)-ын манай улсад хийсэн судалгаагаар 3 жилийн хугацаанд нийт 200 орчим орон байранд радоны агууламж тодорхойлоход монгол гэрт 4-15 бк/м³, модон байшинд 15-28 бк/м³, тоосгон байшинд 23-57 бк/м³, бетон байшинд 30-135 бк/м³ тодорхойлогдсон байна [32].

Судлаач Б.Уранчимэг, Н.Норов нар (2015)-ын хийсэн судалгаагаар нийслэлийн 6 дүүргийн 120 сургууль, цэцэрлэгийн 367 байрлалд радоны хэмжилтийг хийсэн байна. Тус судалгааны үр дүнд Хан-Уул, Сонгинохайрхан дүүрэгт сургууль, цэцэрлэгийн дотоод орчинд радоны агууламж нь стандартаас хэтэрсэн хувь их тодорхойлогдсон байна. Тухайлбал, 200 бк/м³-ээс дээш хэмжээтэй 62 тохиолдол, 200 бк/м³-ээс доош хэмжээтэй 300 тохиолдол, 200-400 бк/м³ хэмжээтэй 49 тохиолдол тодорхойлсон байна [33].

Радон ба уушгины хорт хавдар:

Дэлхий дахинд 1980-аад оноос орон байрны радоноос хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөөллийг судалж эхэлсэн. Европ, Хойд Америк, Хятадад хийсэн судалгаагаар орон сууцанд радоны агууламж бага байсан ч оршин суугчдын эрүүл мэндэд эрсдэл учруулж, уушгины хорт хавдар үүсэхэд нөлөөлдөг болохыг баталсан. Улс орнуудын радоны дундаж түвшин болон тамхидалтын тархалтаас хамааран уушгины хавдрын нийт тохиолдол дотор радоны шалтгаан 3-14% байдаг. Радоны өртөлт болон уушгины хавдрын хамаарлын судалгааг анх ураны уурхайд ажиллагсдын дунд судалсан бөгөөд радоны өндөр концентрацид өртсөн ураны уурхайд ажиллагсдын дунд уушгины хорт хавдрын өвчлөл их байсан. Түүнчлэн Европ, Хойд Америк, Хятадад хийсэн судалгаагаар орон сууцанд радоны агууламж бага байсан ч оршин суугчдын эрүүл мэндэд эрсдэл учруулж, уушгины хорт хавдар үүсэхэд нөлөөлдөг болохыг баталсан.

Радоны удаан хугацааны дундаж агууламж 100 бк/м³-ээр нэмэгдэхэд уушгины хорт хавдраар өвчлөх эрсдэл ойролцоогоор 16%-иар нэмэгддэг. Радоны агууламж ба уушгины хавдрын хувьд шугаман хамааралтай гэж үздэг. Тухайлбал

радоны агууламж (өртөлт) ихсэх тусам уушгины хорт хавдар үүсэх эрсдэл нь пропорциональ хэмжээгээр нэмэгддэг. Тамхи татдаг хүмүүсийн дунд радоны өртөлтийн улмаас уушгины хавдар үүсэх эрсдэл 25 дахин их байдаг.

Хүн ажил, амьдралынхаа ихэнх хувийг өнгөрүүлдэг дотоод орчиндоо радоны нөлөөлөлд хамгийн ихээр өртдөг. Дотоод орчин дахь радоны агууламж нь тухайн орон нутгийн газар зүйн онцлог, хөрс болон газрын чулуулаг дахь ураны агууламж, хөрснөөс барилга руу радон нэвтрэн орох замууд, барилгын материалын хийц, оршин суугчдын агаар сэлгэлтийн дадал зуршил, барилга байгууламжийн агаар үл нэвтрэх чанар, хагарал үүссэн зэргээс шалтгаалдаг [1].

Радон ба түүний задралын бүтээгдэхүүн (Полоний 218 ба 214)-ийг 1988 онд Дэлхийн Эрүүл Мэндийн Байгууллагын Хавдар судлалын олон улсын агентлагаас (ДЭМБ-IARC) 1-р бүлэгт хүний биед хорт хавдар үүсгэгч гэж тодорхойлсон байдаг [34]. Радон нь дэгдэмхий чанартай тул агаараар дамжин хүний уушгинд орох боломжтой. Мөн богино настай тогтворгүй изотоп тул тун богино хугацаанд дахин задарч өөр изотопт шилжих ба задралын дүнд биологийн эффект өндөртэй альфа бөөм үүснэ. Альфа бөөмийн нөлөөгөөр уушгины эс гэмтэж, хорт хавдар үүсэх нөхцөл бүрдэнэ [20].

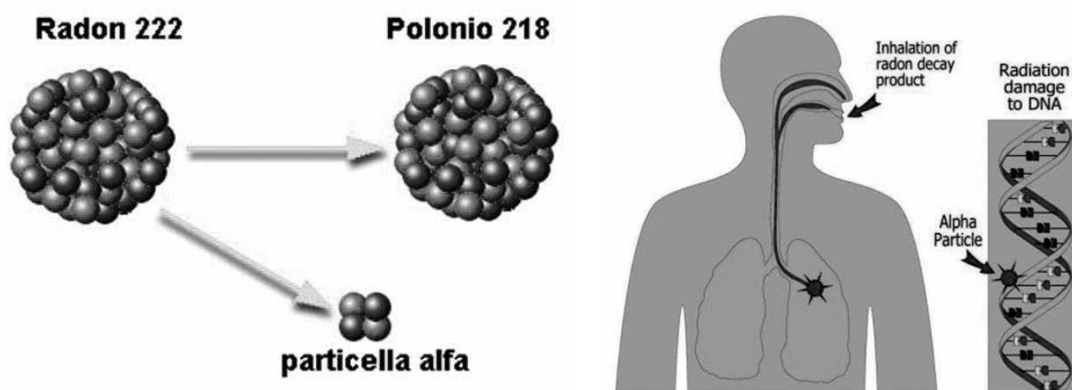
АНУ-ын Хүрээлэн буй орчныг хамгаалах агентлагийн судалснаар уушгины хорт хавдрын шалтгаан дотор нэгдүгээрт тамхи татах, хоёрдугаарт дотоод орчны агаар дахь радон, гуравдугаарт дам тамхидалт орж байна. Тухайлбал радон нь жил бүр 21 000 уушгины хорт хавдрын нас баралтад нөлөөлж байгаа бөгөөд тэдгээрийн 2900 орчим нь тамхи

татдаггүй хүмүүсийн дунд тохиолдсон байна. Тамхи татдаг хүмүүсийн хувьд уушгины хорт хавдар үүсэх эрсдэл нь радон ба тамхины синергетик нөлөөнөөс хамаардаг. Тамхи татдаг хүмүүсийн хувьд 1000 хүн тутмын 62, тамхи татдаггүй хүмүүсийн 1000 хүн тутмын 7.3 нь уушгины хорт хавдраар нас бардаг [35].

Радонтой холбоотой уушгины хорт хавдар үүсэх эрсдэлд олон хүчин зүйл нөлөөлдөг. Үүнд: нас, өртөлтийн хугацаа, радоны концентраци, тамхи татах, ажил, гэр болон нийтийн тээврийн хэрэгсэлд байх хугацаа зэрэг ажил амралтын горим, усны эх үүсвэр: хэрэв худгийн ус нь радоны гол эх үүсвэр бол дээд давхрууд доод давхруудаас илүү өртөж болно, уур амьсгал ба жилийн цаг уур: хүйтэн цаг агаарт радоны түвшин өвөлдөө өндөр, зун бага байдаг [36].

Дэлхийн хэмжээнд жил бүр 1 сая гаруй хүн уушгины хорт хавдрын улмаас нас барж байгаа бөгөөд уушгины хорт хавдрын шалтгааны 70-90% (эрэгтэйд 90%, эмэгтэйд 70-80%) нь тамхины хэрэглээтэй холбоотой байна [37].

Орон сууцны барилгын материалын үндсэн түүхий эд болох шавар, шохой нь тодорхой хэмжээний байгалийн цацраг идэвхт элементийг зайлшгүй агуулна. Уг байгалийн цацраг идэвхт элементийн гол төлөөлөл бол уран, тори бүлгийн элементийн задралын дүнд үүсдэг радоны изотопууд ($Rn-220$, $Rn-222$) юм. Эдгээр нь дэгдэмхий чанартай тул агаараар дамжин хүний уушгинд орох боломжтой. Мөн богино настай тогтворгүй изотоп тул тун богино хугацаанд дахин задарч өөр изотопт шилжих ба задралын дүнд биологийн эффект өндөртэй альфа бөөм үүснэ. Альфа бөөмийн нөлөөгөөр уушгины эс гэмтэж, хорт хавдар үүсэх нөхцөл бүрдэнэ [21].



Зураг 1. Орон байрны радоны хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх сөрөг нөлөө

Судлаач Eung Joo Park нарын 2018 онд хийсэн “Уушгины хорт хавдартай холбоотой орон сууцны радоны өртөлт ба тамхи таталт: Тохиолдол хяналтын судалгаа” нь тохиолдлын бүлэгт уушгины хавдартай 519, хяналтын бүлэгт харьцангуй эрүүл 519 хүнийг судалгаанд хамруулан, тэдгээрийн амьдардаг орон байранд идэвхигүй аргаар радоны хэмжилт хийсэн байна. Уг судалгааны үр дүнд уушгины хавдраар өвчилсөн байдал нь радоны агууламж ихтэй (>100 бк/м³) оршин суугчдын дунд 1.56 дахин их (OR 1.56, 95%CI:1.03-2.37), тамхи татдаг хүмүүст 2.53 дахин их (OR 2.53, 95%CI:1.6-3.99) өртсөн байна [38].

Судлаач Maria Torres-Duran нарын 2013 онд хийсэн “Тамхи татдаггүй хүмүүсийн уушгины хорт хавдар: радонд өртөмтгий бүс дэх тохиолдлын хяналтын судалгаа (Галисиа, Испани)” судалгаагаар эмнэлэгт суурилсан тохиолдол хяналтын загвараар тохиолдлын бүлэгт 192, хяналтын бүлэгт 329 хүнийг хамруулан, тэдгээрийн амьдардаг орон байрны унтлагын өрөөнд радоны альфа бөөм илрүүлэгч детектор байршуулан хэмжилт хийсэн байна. Детекторыг унтлагын өрөөнд шалнаас 60-180 см өндөрт, хаалга, цонх, халаалт, цахилгаан хэрэгслээс хол байрлуулсан байна. Тус судалгааны үр дүнд тохиолдлын бүлгийн 48%, хяналтын бүлгийн 29.4% нь >200 бк/м³ агууламж бүхий радонд өртсөн. Орон сууцны радоны агууламж 200 бк/м³-ээс их оршин суугчдын дунд 100 бк/м³-ээс бага хүмүүстэй харьцуулахад уушгины хавдраар өвчлөх эрсдэл 2.42 дахин их (OR 2.42, 95%CI:1.45-4.06) байгааг судлан тогтоожээ [39].

Судлаач Hiromi Kudo нарын 2005-2007 онд хийсэн “Ганьсу мужийн радон ба тороны нөлөөллийг дахин үнэлэх анхны оролдлого нь радон-тороныг ялгах хэмжилтийн техник ашиглан хийсэн судалгаа”-ны тохиолдлын бүлэгт 33, хяналтын бүлэгт 72 хүнийг хамруулан эдгээрээс 82 айлд радоны хэмжилт хийсэн байна. Судалгааны үр дүнд айл өрхийн дотоод орчны радоны агууламж 50-100 бк/м³ үед OR=0.35 (95%CI:0.07-1.74), 100 бк/м³-ээс их үед OR=0.27 (95%CI:0.04-1.74) байгаа нь радоноос хамаарсан уушгины хавдрын өртөлт статистик ач холбогдол бүхий нэмэгдээгүй байна [40].

Өрөөн доторх радон нь тамхи татдаг болон тамхи татдаггүй хүмүүсийн уушгины хорт хавдрын шалтгаан болдог. Гэсэн хэдий ч тамхины утаа, радон хоёрын хооронд уушгины хорт хавдар үүсэхэд синергетик нөлөө үзүүлж, тамхи татдаг болон тамхины утаанд өртдөг хүмүүсийн уушгины хорт хавдар тусах эрсдэл

нь тамхи татдаггүй болон дам тамхидалтад өртөөгүй хүмүүстэй харьцуулахад 10 дахин их байдаг [17].

Судалгаанаас харахад орон байран дахь радоны агууламж 21 бк/м³ хүрэхэд тамхи татдаг хүмүүсийн уушгины хорт хавдар тусах эрсдэл нь тамхи татдаггүй хүмүүсийнхээс 30 дахин их байх болно [25].

α -тоосонцор ялгаруулдаг цацраг идэвхт радон болон түүний задралын бүтээгдэхүүнд хордсон гүний уурхайчид уушгины хорт хавдар тусах эрсдэлтэй байдгийг тогтоосон [41].

Олон улсад хийсэн судалгааны дүнгээр дотоод орчинд 250 бк/м³-ээс дээш радоны агууламжтай хүмүүсийн уушгины хорт хавдраар өвчлөх магадлал нь өртөөгүй хүмүүсээс 1.4 дахин их байдаг [42].

Европт хийсэн судалгаагаар 5-30 жилийн хугацаанд орон сууцны радоны өртөлт нь уушгины хорт хавдар тусах эрсдэлийг 100 бк/м³ тутамд 8%-иар нэмэгдүүлдэг [43]. АНУ-д жил бүр 157,400 уушгины хорт хавдраар нас барж байгаагийн 10-15% нь орон сууцны радонтой холбоотой байж болзошгүй юм [44].

Thomas H. Kean нарын 1989 онд хийсэн судалгааны үр дүнд дотоод орчны радоны агууламж жилд 4500 бк/м³ хуримтлагдахад уушгины хавдраар өвчлөх харьцангуй эрсдэл 1.8 байсан бөгөөд 70-аас дээш насны эмэгтэй хүмүүсийн дунд эрсдэл их тодорхойлогдсон байна. Түүнчлэн хөдөө амьдардаг хүмүүсийн дунд радоны агууламж ба уушгины хавдрын хооронд шууд хамаарал илүү ажиглагдсан, ялангуяа эрэгтэй хүмүүсийн дунд хамаарал илүү тодорхойлогдсон байна [45].

Marna Lorenzo-Gonzalez нарын 2019 онд Испани улсад хийсэн судалгаагаар дотоод орчны радоны агууламж нь уушгины хавдраар өвчлөх эрсдлийг нэмэгдүүлдэг бөгөөд 50 бк/м³-ээс дээш радоны өртөлт нь уушгины хорт хавдартай холбоотой болохыг тодорхойлсон байна. Ялангуяа тамхи татдаг хүмүүсийн хувьд радоны агууламж нэмэгдэх тусам уушгины хорт хавдар тусах эрсдэл эрс нэмэгдэж, 200 бк/м³-ээс их хэмжээтэй радоны агууламж нь тамхи татдаг хүмүүсийн хувьд уушгины хавдраар өвчлөх эрсдэл OR 29.3 (95% CI: 15.4 55.7) хүрдэг байна [46].

A. Ruano-Ravina нарын 2018 онд Испани улсад хийсэн судалгааны дүнгээр радон багатай (<50 бк/м³) их тамхи татдаг хүмүүс уушгины хорт хавдраар өвчлөх эрсдэл 12.6 байсан бол 200 бк/м³-ээс дээш агууламжтай радонтой орон

байранд амьдардаг тамхи татдаг хүмүүсийн хувьд 31.3 байсан [47].

Zeng-Li Zhang нарын 22 судалгааг хамруулсан системчилсэн тойм судалгааны дүнд тун хариу урвалын шинжилгээгээр орон сууцны радоныг 100 бк/м³ нэмэгдүүлэх тутам уушигны хорт хавдар үүсэх эрсдэлийг 7%-иар ихэсгэдэг болохыг тодорхойлсон. Тухайлбал эмэгтэй эсвэл тамхи татдаггүй хүмүүст хийсэн судалгаагаар радоны өртөлт болон уушгины хорт хавдрын хоорондын хамаарал сул ажиглагдсан байна [48].

Goran Pershagen нарын Швед улсад хийсэн судалгаагаар уушгины хорт хавдрын гистологийн төрлөөс хамааран радоны өртөлтийн харьцангуй эрсдлийг тооцоолсон бөгөөд жижиг эсийн хавдар ба аденокарциномын хувьд радоны өртөлттэй хамгийн хүчтэй хамааралтай байсан. Гэхдээ энэ нь Шведийн Хавдрын Бүртгэлийн кодын ангилал, бүртгэлтэй холбоотой байж болзошгүй юм [49].

Монгол орны хөрсөнд байгалийн цацраг идэвхт эрдэс агуулагдах төдийгүй нэгж хүн амд ногдох хорт хавдрын нас баралтаараа дэлхийд нэгдүгээрт орж байна. Хорт хавдрын шалтгаант нас баралт нь нийт нас баралтын 23.1%-ийг эзэлж байгаа бөгөөд үүнд элэг, ходоод, уушгины хорт хавдрын нас баралт зонхилж байна. Хорт хавдрын өвчлөлийн бүтцийг авч үзвэл элэгний хорт хавдар 33.2%, ходоодны хорт хавдар 17.2%, уушги, гуурсан хоолойн хорт хавдар 7.6%-ийг эзэлж байна. Монгол Улсын хэмжээнд 2010-2019 оны хооронд уушгины хорт хавдрын 4182 шинэ тохиолдол бүртгэгдсэн байна. 2019 онд энэ үзүүлэлт 492 болж, сүүлийн 10 жилийн дундажаас 74 (17.6%)-өөр нэмэгдсэн байна. Уушгины хорт хавдрын өвчлөлийн түвшин 2015-2019 оны дундажар 10 000 хүн амд 1.5 байгаа бол 2041-2045 онд энэ үзүүлэлт 3.8 болж эрс нэмэгдэх хандлагатай байна [50].

Иймээс уушгины хорт хавдрын өвчлөлийг дотоод орчны хүчин зүйл болох орон байрны агаар дахь радоны агууламжтай холбон судлах шаардлагатай байна.

Ашигласан материал

1. WHO. Radon- key facts. 2023. Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/radon-and-health>
2. Appleton, J.D. Radon in Air and Water. In *Essentials of Medical Geology: Revised Edition*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2012; pp. 239–277.
3. Agency for toxic substances and disease registry. Radon Toxicity. Where Is Radon Found? Available from: https://www.atsdr.cdc.gov/csem/radon/where_found.html
4. International atomic energy agency. What is Radon and How are We Exposed to It? Available from: <https://www.iaea.org/newscenter/news/what-is-radon-and-how-are-we-exposed-to-it>
5. EPA. Radionuclide Basics: Radon. Available from: <https://www.epa.gov/radiation/radionuclide-basics-radon>
6. Efstratios G. Vogiannis and Dimitrios Nikolopoulos, Radon Sources and Associated Risk in Terms of Exposure and Dose. *Front Public Health*. 2014; 2: p.207.
7. James Appleton, Radon: Sources, Health Risks, and Hazard Mapping. *AMBIO A Journal of the Human Environment*. Vol. 36, No. 1, February 2007: p.85-89.
8. Patitapaban Sahu., et al., Sources of Radon and its Measurement Techniques in Underground Uranium Mines – An Overview. *Journal of Sustainable Mining*, Volume 13, Issue 3, 2014, Pages 11-18.
9. Efstratios Vogiannis, Radon Sources and Associated Risk in Terms of Exposure and Dose. *Frontiers in Public Health*. January 2015, 2:1-10
10. Leonel J. R. Nunes., et al., The Relationship between Radon and Geology: Sources, Transport and Indoor Accumulation. *Appl. Sci*. 2023, 13, 7460. Available from: <https://doi.org/10.3390/app13137460>
11. Alvarez-Gallego, M.; Garcia-Anton, E.; Fernandez-Cortes, A.; Cuezva, S.; Sanchez-Moral, S. High radon levels in subterranean environments: Monitoring and technical criteria to ensure human safety (case of Castacar cave, Spain). *J. Environ. Radioact*. 2015, 145, 19–29. [Google Scholar] [CrossRef] [Green Version]
12. James K.Otton, The geology of radon. 1992, page 5.
13. Pinti, D.L.; Retailleau, S.; Barnette, D.; Moreira, F.; Moritz, A.M.; Larocque, M.; Gyllinas, Y.; Lefebvre, R.; Hille, J.-F.; Valadez, A. 222Rn activity in groundwater of the St. Lawrence Lowlands, Quebec, eastern Canada: Relation with local geology and health hazard. *J. Environ. Radioact*. 2014, 136, 206–217.
14. Capaccioni, B.; Nesci, O.; Sacchi, E.M.; Savelli, D.; Troiani, F. Caratterizzazione idrochimica di un acquifero superficiale: Il caso della circolazione idrica nei corpi di frana nella dorsale carbonatica di m. Pietralata-m.

- Paganuccio (appennino marchigiano). *Alp. Mediterr. Quat.* 2004, 17, 585–595.
15. Etiope, G.; Martinelli, G. Migration of carrier and trace gases in the geosphere: An overview. *Phys. Earth Planet. Inter.* 2002, 129, 185–204.
 16. Burnett, W.C.; Dulaiova, H. Estimating the dynamics of groundwater input into the coastal zone via continuous radon-222 measurements. *J. Environ. Radioact.* 2003, 69, 21–35.
 17. Stanifer, Stacy, Residential radon exposure, its contribution to lung cancer, and social determinants of radon testing. 2020
 18. Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency. Radon in homes: fact sheet 5. Canberra: Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, 2011. Viewed 7 December 2012, http://www.arpsa.gov.au/radiationprotection/factsheets/is_radon.cfm.
 19. Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency. Radon map of Australia: fact sheet 26. Canberra: Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, 2011. Viewed 7 December 2012, http://www.arpsa.gov.au/radiationprotection/factsheets/is_RadonMap.cfm
 20. Abbey Matimba Maheso., et al., Indoor Radon Levels in Homes and Schools in the Western Cape, South Africa—Results from a Schools Science Outreach Initiative and Corresponding Model Predictions. *Int J Environ Res Public Health.* 2023 Jan; 20(2): 1350.
 21. Ж.Эрдэнэтогтох нар. Улаанбаатар хотын орон сууцнуудын радоны хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөөллийн судалгаа. 2021 он
 22. Zeeb H, Shannoun F. WHO handbook in indoor radon: a public health perspective. Geneva: World Health Organization (WHO); 2009.
 23. Rezazadeh A. Radon concentrations in public water supplies in Tehran and evaluation of radiation dose. *Iran J Radiat Res.* 2005;3(2):79–83.
 24. Henriksen M. Radiation and health. Abingdon: Taylor & Francis; 2011.
 25. Hazar N, Karbakhsh M, Yunesian M, Nedjat S, Naddafi K. Perceived risk of exposure to indoor residential radon and its relationship to willingness to test among health care providers in Tehran. *J Environ Health Sci Eng.* 2014;12(1):118.
 26. Samaneh Shahsavani., et al., Indoor radon concentrations in residential houses, processing factories, and mines in Neyriz, Iran. *J Environ Health Sci Eng.* 2019 Dec; 17(2): 979–987.
 27. Haddadi G. Assessment of radon level in dwellings of Tabriz. *J Fasa Univ Med Sci.* 2011;1(1):9–13.
 28. Firoozabadi A, Bozarjomhari F, Ghahari M, Parch A, Lotfi M, Zare M. Measurement of radon gas concentrations in lead and zinc mines of Yazd province. *Health Tool.* 2016;14(6):94–102.
 29. Barros-Diosa JM, Ruano-Ravina A, Gastelu-Iturrid J, Figueirasa A. Factors underlying residential radon concentration: results from Galicia. *Spain Environ Res.* 2007;103:185–190.
 30. Government of Canada. Guide for Radon Measurements in Residential Dwellings (Homes). 2017, page 5.
 31. Paballo M. Moshupya., et al., Evaluation of Indoor Radon Activity Concentrations and Controls in Dwellings Surrounding the Gold Mine Tailings in Gauteng Province of South Africa. *Int J Environ Res Public Health.* 2023 Nov; 20(21): 7010.
 32. Б.Эрдэв, Б.Мөнхцэцэг нар. Орон сууцны агаарын радон. МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг №179 (10), 2003
 33. Б.Уранчимэг, Н.Норов. Улаанбаатар хотын зарим сургууль, цэцэрлэгийн байрны агаар дахь радоны судалгаа. *Физик сэтгүүл* 19(425), 2005, хуудас 69-72
 34. International Agency for Research on Cancer. Man-made mineral fibres and radon. *IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum* 1988;43:1-300
 35. US EPA. Health Risk of Radon. Available from <https://www.epa.gov/radon/health-risk-radon>
 36. Agency for toxic substances and disease registry. Radon Toxicity. Who Is at Risk of Radon Exposure? Available from: https://www.atsdr.cdc.gov/csem/radon/who_risk.html
 37. Tonya Walser et al. Smoking and Lung Cancer. *Proc Am Thorac Soc.* 2008 Dec 1; 5(8): 811–815.
 38. Eung Joo Park, Hokyoo Lee, Hyeon Chang Kim et al. Residential Radon Exposure and Cigarette Smoking in Association with Lung Cancer: A Matched Case-Control Study in Korea. *Int.J. Environ. Res. Public Health* 2020, 17, 2946. 2020

39. Maria Torres-Duran, Alberto Ruano-Ravina, Isaura Parente-Lamelas et al. Lung cancer in never-smokers: a case-control study in a radon-prone area (Galicia, Spain). *Eur Respir J* 2014; 44: 994–1001. 2014
40. Hiromi Kudo, Shinji Yoshinaga, Xiaoliang Li et al. The First Attempt to Reevaluate Radon and Thoron Exposure in Gansu Province Study Using Radon-Thoron Discriminating Measurement Technique. *Front. Public Health* 9:764201. 2021
41. Jyoti Malhotra., et al., Risk factors for lung cancer worldwide. *Eur Respir J* 2016; 48: 889–902.
42. Pavia M, Bianco A, Pileggi C, Angelillo IF. Meta-analysis of residential exposure to radon gas and lung cancer. *Bull World Health Organ* 2003;81(10):732–8. https://uknowledge.uky.edu/nursing_etds/52
43. International Agency for Research on Cancer. Internalized α -particle emitting radionuclides. In: A review of human carcinogens: radiation. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer, 2012;100D:241–83.
44. US EPA. Assessment of risks from radon in homes. June 2003, page 1.
45. Thomas H. Kean., et al., A case control study of radon and lung cancer among New Jersey women. Technical report. 1989
46. Maria Lorenzo-Gonzalez., et al., Lung cancer risk and residential radon exposure: A pooling of case-control studies in northwestern Spain.
47. A. Ruano-Ravina., et al., Residential Radon, Smoking and Lung Cancer Risk. A Case-Control Study in a Radon Prone Area. *Journal of Thoracic Oncology* Vol. 14 No. 10S
48. Zeng-Li Zhang., et al., Residential Radon and Lung Cancer Risk: An Updated Metaanalysis of Case-control Studies. *Asian Pacific J Cancer Prev*, 13, 2459-2465
49. Goran Pershagen., et al., Residential Radon Exposure and Lung Cancer in Sweden. *N Engl J Med* 1994;330:159-164
50. Эрүүл мэндийн хөгжлийн төв. Эрүүл мэндийн үзүүлэлт 2021