Улаанбаатар хотын сууцны доторх орчинд PM1, PM10 тоосонцорын агууламжийг шууд хэмжилтийн багажаар судалсан дүн

Д.Өлзиймаа[1], Г.Жаргалсайхан[1], Х.Сэр-Од[2], Г.Энхжаргал[1], С.Мягмарчулуун[1], Д.Гантуяа[2], Л.Мөнх-Эрдэнэ[3], Б.Дамдиндорж[4], Н.Хүрэлбаатар[4], Д.Даваалхам[4]

[1]АШУҮИС, Нийгмийн Эрүүл Мэндийн Сургууль, Орчны эрүүл мэндийн тэнхим
[2]АШУҮИС, Нийгмийн Эрүүл Мэндийн Сургууль, Эпидемиологи Биостатистикийн тэнхим
[3]АШУҮИС, Нийгмийн Эрүүл Мэндийн Сургууль, Эрүүл мэндийн бодлогын тэнхим
[4]Анагаахын Шинжлэх Ухааны Үндэсний Их Сургууль
Цахим шуудан: ulziimaa@mnums.edu.mn, Утас: 99109659

Түлхүүр үг:
PM1 тоосонцор
PM10 тоосонцор
Сууцны төрөл
Халаалтын төрөл
Шууд хэмжилтийн багаж

Товч утга:
Үндэслэл: Дэлхийн эрүүл мэндийн байгууллага (ДЭМБ)-ын мэдээллээс үзэхэд дэлхийн нийт хүн ам буюу 99 хувь нь ДЭМБ-ын зөвлөмж хэмжээнээс хэтэрсэн агаараар амьсгалж, бага болон дунд орлоготой улсын хүн ам хамгийн ихээр өртөж байна. Дотоод орчинд агаар бохирдох үндсэн шалтгаануудад гал түлэх, хоол хийх, цэвэрлэгээ, тамхи татах гэх мэт хүний үйл ажиллагаа, сууцны хана, шал, тааз, тавилга зэрэг сууцны шинж чанар, агааржуулалт, гадна орчны агаарын бохирдол ордог. **Зорилго:** Улаанбаатар хотын нийт 120 өрхийг түүвэрлэн сууцны доторх орчинд PM1, PM10 тоосонцорын агууламжийг хэмжиж үнэлэх. **Арга, аргачлал:** Бид сууцны доторх орчны агаар дахь PM1, PM10 тоосонцорын агууламжийг "PurpleAir" шууд хэмжилтийн багажийг 2023 оны 10-р сараас 2024 оны 01-р сар хүртэлх хугацаанд суурилуулж, PM1, PM10 тоосонцорын агууламжид нөлөөлөх зарим хүчин зүйлсийн талаарх мэдээллийг асуумжийн аргаар цуглуулсан. Нэг удаагийн хэмжилт 10 минутын турш үргэлжилсэн ба нийт 51,309 удаа хэмжилт хийсэн. **Үр дүн:** PM1 тоосонцорын агууламж гэрт 55.5±53.2 мкг/м^3, байшинд 54.9±46.7 мкг/м^3, орон сууцанд 31.6±40.1 мкг/м^3 тус тус тодорхойлогдлоо ($p<0.001$). Мөн PM10 тоосонцорын агууламж гэрт 110.6±108.6 мкг/м^3, байшинд 110.6±96.7 мкг/м^3, орон сууцанд 62.2±83.0 мкг/м^3 тус тус тодорхойлогдлоо ($p<0.001$). Тоосонцорын агууламжийг халаалтын төрлөөр авч үзэхэд зуух болон пийшинтэй өрхөд PM1 тоосонцорын агууламж 55.3±50.1 мкг/м^3, PM10 тоосонцорын агууламж 110.6±103.0 мкг/м^3 хэмжигдсэн бол төвлөрсөн халаалттай өрхөд PM1 тоосонцорын агууламж 31.6±40.1 мкг/м^3, PM10 тоосонцорын агууламж 62.2±83.0 мкг/м^3 ($p<0.001$). Хэмжилт хийсэн саруудыг авч үзэхэд PM1 ба PM10 тоосонцорын агууламж 2024 оны 1-р сард хамгийн өндөр буюу 64.8±55.1 мкг/м^3 ба 131.4±116.0 мкг/м^3 тус тус байлаа. **Дүгнэлт:** 1. Улаанбаатар хотын сууцны дотоод орчинд PM10 тоосонцорын агууламж MNS4585:2016 Агаарын чанарын стандарт хэмжээнд байсан хэдий ч ДЭМБ-ын зөвлөмж хэмжээнээс хэтэрсэн байгаа нь хүн амын дунд өвчлөл, нас баралтыг нэмэгдүүлэх эрсдэлийг илтгэж байна. 2. Улаанбаатар хотын сууцны дотоод орчинд PM1, PM10 тоосонцорын агууламж байршил, сууцны төрөл, халаалтын төрөл, хэмжилт хийсэн сараар ялгаатай байна.

Үндэслэл: Хүн амьдралынхаа ихэнх цагийг буюу ойролцоогоор 90 хувийг гэр, бэлтгэл хийдэг орчин, сургууль, ажлын байр, тээврийн хэрэгсэл зэрэг хувийн болон нийтийн эзэмшлийн доторх орчинд өнгөрөөдөг тул доторх орчны агаарын чанар эрүүл мэнд, амьдралын чанарт ихээхэн нөлөөлдөг болохыг судлаачид онцлон тэмдэглэсэн байна.[1-3] Судлаачид доторх орчны зарим бохирдуулагчид хувь хүний

өртөлт нь гадна орчны бохирдуулагчдын агууламжаас 2-5 дахин илүү болохыг тогтоосон байна.[4-7]

Дотоод орчинд агаар бохирдох үндсэн шалтгаануудуудад гал түлэх, хоол хийх, цэвэрлэгээ, тамхи татах болон сууцны хана, шал, тааз, тавилга зэрэг сууцны шинж чанар; агааржуулалт; гадна орчны агаарын бохирдол багтдаг байна.[5] Агаарын бохирдлын түгээмэл эх үүсвэрт сууцны доторх орчинд гал түлэх, тээврийн хэрэгсэл, үйлдвэр, ойн түймэр зэрэг багтдаг.[8] Эрүүл мэндэд сөргөөр нөлөөлөх агаарын гол бохирдуулагчдад тоос тоосонцор, нүүрстөрөгчийн дан исэл, озон, азотын давхар исэл, хүхрийн давхар исэл ордог.[9,10] Гадна болон доторх орчны агаарын бохирдол нь амьсгалын замын болон бусад өвчлөлийн шалтгаан болж өвчлөл, нас баралтыг нэмэгдүүлдэг болохыг цөөнгүй судалгаагаар нотолсон байна.[11-13]

Зорилго: Улаанбаатар хотын сууцны доторх орчинд PM1, PM10 тоосонцорын агууламжийг хэмжих

Зорилт:

1. Сууцны доторх орчинд PM1, PM10 тоосонцорын агууламжийг сууцны төрлөөр харьцуулан судлах
2. Сууцны дотоод орчинд PM1, PM10 тоосонцорын агууламжийг халаалтын төрөл, зуухны төрөл, хэмжилт хийсэн саруудаар харьцуулан судлах

Арга, аргачлал: Судалгаанд оролцогч өрхийн сууцны ерөнхий мэдээлэл, дотоод орчинд PM1, PM10 тоосонцорыг бохирдуулах эх үүсвэр, зан үйлтэй холбоотой мэдээллийг асуумжаар судалсан.

Судалгааны загвар: Судалгаанд аналитик судалгааны хугацааны цуваан шинжилгээний загварыг ашигласан. АШУҮИС-ийн Судалгааны ёс зүйн хяналтын хорооны 2024 оны 3 дугаар сарын 22-ны өдрийн хурлаар хэлэлцүүлж судалгааны ажлыг эхлүүлэх ёс зүйн зөвшөөрлийг авсан. (№ 2024/3-03)

Судалгааны үр дүнг STATA-15.0 программыг ашиглан статистик дүн шинжилгээ хийсэн. Дескриптив тоон дүн шинжилгээний аргыг ашиглан бодит тоо, эзлэх хувь, дундаж, стандарт хазайлт, хамгийн их утга, хамгийн бага утгыг тодорхойлсон. Дунджийн утгыг Wilcoxon rank sum test ба Kruskal-Wallis rank sum test ашиглан харьцуулж, үзүүлэлтийн үнэн магадыг 95 хувийн итгэлцлийн түвшинд тодорхойлсон. Дотоод орчны агаарын бохирдлын үзүүлэлт, бичил цаг уурын үзүүлэлтүүдийг сууцны төрөл, дүүрэг, хороогоор харьцуулахад Kruskal-Wallis rank sum test ашигласан.

Үр дүн: Бид судалгаандаа Улаанбаатар хотын Баянзүрх дүүрэг (n=30), Хан-Уул дүүрэг (n=30), Сүхбаатар дүүрэг (n=30), Сонгино-Хайрхан дүүргийн (n=30) өрхүүдэд дотоод орчны агаарын чанарыг үнэлсэн. Сууцны төрлөөр үзэхэд монгол гэр 48 (40.0%), орон сууц 24 (20.0%), байшин 48 (40.0%) тус тус хамруулсан. PM1, PM10 тоосонцорын агууламжийг сууцны төрлөөр авч үзэхэд статистик ач холбогдол бүхий ялгаатай ($p<0.001$) байсан бол дундаж агууламж гэрт өндөр байгаа нь тодорхойлогдлоо. PM1 тоосонцорын агууламжийн хамгийн их утга гэрт (348.5 мкг/м^3) байсан бол PM10 тоосонцорын агууламжийн хамгийн их утга (698.4 мкг/м^3) байв. Түүнчлэн зуух болон пийшинтэй өрхөд харьцангуй өндөр (65.0±92.4 мкг/м^3) мөн 12-р сард дундаж агууламж хамгийн өндөр (77.1±94.1) байгаа нь тус тус тодорхойлогдлоо.

Хэмжилт хийсэн сараар харьцуулж үзэхэд PM1 тоосонцорын агууламж 10-р сард 32.7±40.2 мкг/м^3, 11-р сард 45.2±43.8 мкг/м^3, 12-р сард 62.2±52.6 мкг/м^3, 1-р сард 64.8±55.1 мкг/м^3, ($p< 0.001$) байсан бол PM10 тоосонцорын агууламж 10-р сард 64.7±82.1 мкг/м^3, 11-р сард 89.0±87.1 мкг/м^3, 12-р сард 125.0±109.8 мкг/м^3, 1-р сард 131.4±116.0 мкг/м^3 байгаа нь тус тус тодорхойлогдлоо ($p< 0.001$).

Хэмжилт хийсэн дүүргээр харьцуулж үзэхэд PM1 тоосонцорын агууламж Баянзүрх дүүрэгт 36.5±39.3 мкг/м^3, Хан-Уул дүүрэгт 45.5±49.1 мкг/м^3, Сүхбаатар дүүрэгт 50.0±45.8 мкг/м^3, Сонгинохайрхан дүүрэгт 56.5±53.0 мкг/м^3 байв ($p<0.001$). PM10 тоосонцорын агууламж Баянзүрх дүүрэгт 73.2±80.0 мкг/м^3, Хан-Уул дүүрэгт 88.7±97.0 мкг/м^3, Сүхбаатар дүүрэгт 101.1±96.0 мкг/м^3, Сонгинохайрхан дүүрэгт 113.4±109.8 мкг/м^3 байлаа ($p<0.001$) (Хүснэгт 1).

Хүснэгт 1. PM1, PM10 тоосонцорын агууламжийг сууцны зарим үзүүлэлтээр харьцуулсан дүн

Үзүүлэлт	PM1 тоосонцорын агууламж, мкг/м³					PM10 тоосонцорын агууламж, мкг/м³		
	n	%	Дундаж	С.Х	Р утга	Дундаж	С.Х	Р утга
Сууцны төрөл					0.001			0.001
Гэр	48	40	55.5	53.2		110.6	108.6	
Байшин	24	40	54.9	46.7		110.6	96.7	
Орон сууц	48	20	31.6	40.1		62.2	83.0	
Халаалтын төрөл					0.001			0.001
Зуух/пийшин	96	80	55.3	50.1		110.6	103.0	
Төвлөрсөн	69	20	31.6	40.1		62.2	83.0	
Дүүрэг					0.001			
Баянзүрх	30	25	36.5	39.3		73.2	80	
Хан-Уул	30	25	45.5	49.1		88.7	97	
Сүхбаатар	30	25	50.0	45.8		101.1	96	
Сонгинохайрхан	30	25	56.5	53.0		113.4	109.8	
Хэмжилт хийсэн сар					0.001			0.001
2023.10 сар	4413	21	32.7	40.2		64.7	82.1	
2023.11 сар	4907	23	45.2	43.8		89.0	87.1	
2023.12 сар	8034	38	62.2	52.6		125.0	109.8	
2024.1 сар	3436	18	64.8	55.1		131.4	116.0	
Нийт	**120**	**100**	**50.4**	**49.2**		**100.8**	**101.1**	

Хэлцэмж: Бидний судалгаанд нийт 120 айл өрхийн PM1, PM10 тоосонцорын дундаж агууламж тус бүр 50.4±49.2 мкг/м³, 100.8±101.1 мкг/м³ хэмжигдсэн нь Нийгмийн эрүүл мэндийн хүрээлэн, Эрүүл мэндийн яамтай хамтарч хийсэн "Гэрийн дотоод орчны агаарын чанар" судалгааны дундаж агууламжаас (71.1±83.5 мкг/м³) их байв. Энэ нь хэмжилтийн хугацаа болон хэмжилт хийсэн онууд ялгаатай болон дундаж агууламж харилцан адилгүй байгаатай холбоотой гэж үзэж байна.[14,15]

Түүнчлэн бидний судалгаа дахь PM10 тоосонцорын үр дүн Нийгмийн эрүүл мэндийн хүрээлэнгийн 2020 онд хийсэн судалгааны үр дүнтэй (сайжруулсан түлш хэрэглэдэг өрхөд 170.1±151.4 мкг/м³, түүхий нүүрс хэрэглэдэг өрхөд 173.8±95.1 мкг/м³) харьцуулахад бага байлаа. Энэ нь хэмжилт хийсэн багаж, хэмжилтийн хугацаа, судалгааны түүврийн хэмжээнээс хамаарч ялгаатай гарсан байх боломжтой. PM1 тоосонцорын дундаж агууламж гэрт, байшинд, орон сууцанд тус бүр 55.5 мкг/м³, 54.9 мкг/м³, 31.6 мкг/м³, PM10 тоосонцорын дундаж агууламж гэрт, байшинд, орон сууцанд тус бүр 110.6 мкг/м³, 110.6 мкг/м³, 62.2 мкг/м³ хэмжигдсэн.

Бидний судалгаанд 1-р сард PM1, PM10 тоосонцорын агууламж хамгийн өндөр хэмжигдсэн нь тус сард гадаах орчны агаарын температур илүү хүйтэрч, галлагааны хэмжээ, давтамж нэмэгддэгтэй холоотой байж болох юм.

Улаанбаатар хотод иргэдийн дунд амьсгал, зүрх судасны өвчлөл, нас баралтыг нэмэгдүүлэх эрсдэлтэй хэвээр байна.

Дүгнэлт:

1. Улаанбаатар хотын сууцны дотоод орчинд PM10 тоосонцорын агууламж MNS4585:2016 Агаарын чанарын стандарт хэмжээнд байсан хэдий ч ДЭМБ-ын зөвлөмж хэмжээнээс хэтэрсэн байгаа нь хүн амын дунд өвчлөл, нас баралтыг нэмэгдүүлэх эрсдэлийг илтгэж байна.
2. Улаанбаатар хотын сууцны дотоод орчинд PM1, PM10 тоосонцорын агууламж байршил, сууцны төрөл, халаалтын төрөл, хэмжилт хийсэн сараар ялгаатай байна.

Ном зүй:

1. *Cincinelli A, Martellini T. Indoor air quality and health. MDPI; 2017. p. 1286.*
2. *Wu W, Jin Y, Carlsten C. Inflammatory health effects of indoor and outdoor particulate matter. Journal of Allergy and Clinical Immunology. 2018;141(3):833-844.*
3. *Jones AP. Indoor air quality and health. Atmospheric environment. 1999;33(28):4535-4564.*
4. *Kubba S. Indoor environmental quality. LEED Practices, Certification, and Accreditation Handbook. 2010:211.*
5. *Ali MU, Yu Y, Yousaf B, et al. Health impacts of indoor air pollution from household solid fuel on children and women. Journal of hazardous materials. 2021;416:126127.*
6. *lidemaj F, Isaxon C, Abera A, Malmqvist E. Indoor air pollution exposure of women in Adama, Ethiopia, and assessment of disease burden attributable to risk factor. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2021;18(18):9859.*
7. *Organization WH. WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. World Health Organization. Regional Office for Europe; 2010.*
8. *Wallace LA, Pellizzari ED, Hartwell TD, Whitmore R, Sparacino C, Zelon H. Total Exposure Assessment Methodology (TEAM) Study: personal exposures, indoor-outdoor relationships, and breath levels of volatile organic compounds in New Jersey. Envi-*

ronment International. 1986;12(1-4):369-387.
9. Ridolo E, Pederzani A, Barone A, Ottoni M, Crivellaro M, Nicoletta F. Indoor air pollution and atopic diseases: a comprehensive framework. Exploration of Asthma & Allergy. 2024;2(3):170-185.
10. WHO. Air pollution. https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1
11. Bruce N, Perez-Padilla R, Albalak R. Indoor air pollution in developing countries: a major environmental and public health challenge. Bulletin of the World Health organization. 2000;78(9):1078-1092.
12. Chen R, Hu B, Liu Y, et al. Beyond PM2. 5: The role of ultrafine particles on adverse health effects of air pollution. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects. 2016;1860(12):2844-2855.
13. Shin M, Kim O-J, Yang S, Choe S-A, Kim S-Y. Different mortality risks of long-term exposure to particulate matter across different cancer sites. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022;19(6):3180.
14. Энхжаргал А. Дотоод орчны агаарын чанарыг туршилтаар судалсан дүн. МонголМед. 2008;144(2)
15. Нийгмийн эрүүл мэндийн хүрээлэн, Эрүүл мэндийн яамтай хамтарч хийсэн "Гэрийн дотоод орчны агаарын чанар", 2007 он

Study results of PM1 and PM10 particulate matter concentrations in Ulaanbaatar city's household environments using low-cost sensors.

Ulziimaa D[1], Jargalsaikhan G[1], Ser-Od Kh[2], Enkhjargal G[1], Myagmarchuluun S[1], Gantuya D[2], Munkh-Erdene L[3], Damdindorj B[4], Khurelbaatar N[4], Davaalkham D[4]

[1]Department of Environmental Health, School of Public Health, MNUMS
[2]Department of Epidemiology and Biostatistics, School of Public Health, MNUMS
[3]Department of Health Policy, School of Public Health, MNUMS
[4]Mongolian National University of Medical Sciences
E-mail: ulziimaa@mnums.edu.mn, Tel: +976-99109659

Background: According to the World Health Organization (WHO), 99 percent of the world's population is exposed to air that exceeds WHO recommendations, with low- and middle-income countries being the most affected. The main causes of indoor air pollution include human activities such as fuel burning, cooking, cleaning, and smoking; housing characteristics such as walls, floors, ceilings, and furniture; ventilation; and outdoor air pollution.
Aim: To assess PM1 and PM10 concentrations in 120 selected households in Ulaanbaatar.
Materials and Methods: Indoor PM1 and PM10 concentrations were measured using Purple Air real-time sensors in randomly selected Ulaanbaatar households between October 2023 and January 2024. Supplementary data on factors affecting the PM2.5 concentration were collected via questionnaires. Each measurement was taken in 10-minute intervals, yielding 51,309 data for analysis.
Results: PM1 concentrations were measured at 55.5±53.2 μg/m³ in gers, 54.9 ± 46.7 μg/m³ in houses, and 31.6±40.1 μg/m³ in apartments ($p<0.001$) and measuring PM10 concentrations were 110.6±108.6 μg/m³ in gers, 110.6±96.7 μg/m³ in houses, and 62.2±83.0 μg/m³ in apartments ($p<0.001$) When considering the concentration of PM1, PM10 by heating type, PM1 was 55.3±50.1 μg/m³ and PM10 was 110.6±103.0 μg/m³ in households with stoves and furnaces, and PM1 was 31.6±40.1 μg/m³ and PM10 was 62.2±83.0 μg/m³ in households connected to the central heating system ($p<0.001$). Regarding the months of measurement, the highest concentration was observed in December 2023, at 77.1±94.1 μg/m³. The highest concentrations for both PM_1 and PM_{10} were recorded in January 2024, at PM_1: 64.8±55.1 μg/m³, PM_{10}: 131.4±116.0 μg/m³.
Conclusions:
1. Indoor PM10 concentrations in residential environments in Ulaanbaatar city were within the MNS4585:2016 Air Quality Standard, however, it was exceeded the WHO air quality guidelines, indicating an excessive risk of increasing morbidity and mortality among the population.
2. Indoor PM1 and PM10 concentrations in residential environments in Ulaanbaatar varies depending on location, type of housing, type of heating, and month of measurement.

Keywords: PM1, PM10, Dwelling type, Heating system type, Direct monitoring device