

№14 ДӘРІСТІҢ ҚЫСҚАША МАЗМҰНЫ

Дәріс 14 Нанодисперсті күйдегі заттардың уыттылығы

Дәрістің мақсаты: нанобөлшектердің адам денсаулығына зиянды әсерінің негізгі себебін бөліп көрсете білу. Зиянды әсерлерді азайту жолдарын білу.

Зиянсыз заттарды қатты ұнтақтағанда олар денсаулыққа қауіпті болатыны нанотехнологиялардың пайда болуына дейін де белгілі болды. Ежелгі дәуірдегі мырышты қорытумен айналысатын адамдар мырыш безгегінен – мырыш буларының жануы кезінде түзілетін жоғары дисперсті күйдегі мырыш оксидінің аэрозольдерімен тыныс алудан туындайтын өкпе ауруынан азап шекті. Мұндай ауру қазіргі кезде де, әсіресе құюшылар мен дәнекерлеушілер арасында кездеседі және мырыш буларымен қоса басқа металдар (мыс, темір, қорғасын және олардың оксидтері) аэрозольдері әсерінен пайда болады.

Денсаулыққа автомобильдер қозғалтқыштарында, электростанцияларда органикалық жанармайдың толық жанбауы кезінде түзілетін және шылым шегу кезінде өкпеге көп мөлшерде баратын көміртек нанобөлшектерімен дем алу ең үлкен зиян келтіреді. Өкпенің қорғаушы механизмдері әдеттегі органикалық және минералды шаңға қарағанда көміртекті шаңды өңдеуге не жоюға қабілетсіз – ол өкпеде мәңгі қалып, бронхиолалар мен альвеолалардың рефлекторлы тарылуын тудырады, осының есебінен тиімді тыныс саңылауы және сәйкесінше қанға баратын оттегі мөлшері азаяды.

Нанокүйдегі заттардың сипатты ерекшелігі – ағзаның қорғаушы жүйелері арқылы «өту» қабілеті. Мысалы, бірнеше жүз нанометрден ұсақ бөлшектер өкпе ішіндегі кеңістікке оңай енеді, ал наномөлшерлі бөлшектер өкпеден қанға еркін өтеді. Дәл осылай адам ағзасына күрделі табиғи нанобөлшек болып табылатын тұмау вирусы түседі. Тыныс жүйесінде бөлшектердің тұну ықтималдығы олардың мөлшеріне байланысты. Ол мөлшері 1 нм - ден 50 нм - ге және 3 мкм-ден ондаған мкм-ге дейінгі бөлшектер үшін зор, ал мөлшері 300 нм бөлшектер үшін минималды, мөлшері 20 нм бөлшектер өкпеде, мөлшері 5 нм бөлшектер ауатамырда (бронх), ал мөлшері 1 - 5 нм және 1 мкм-ден жоғары бөлшектер жұтқыншақта жиналады. Өте ұсақ нанобөлшектер жасушалы мембраналар арқылы өтіп, митохондрияларда жиналып, олардың құрылымын бұзады. Өкінішке орай, наноматериалдардың адам денсаулығына қауіптілігі өкпенің респираторлы зақымдалуымен шектелмейді. Өкпе қабығы мен көк еттің қатерлі ісіктерін тудыратын асбест шаңының ($\text{Na}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_3\text{Fe}^{3+}[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH}, \text{F})_2$ крокидититі) әсері бәріне мәлім.

Нанобөлшектердің өкпеге енуі біздің қалауымызсыз жүзеге асса, теріге адамдар өз еркімен тигізеді – нанобөлшектер дермотологтар мен

косметологтар ұсынған көптеген майлардың негізгі құрамдас бөлігі болып табылады. Теріні «жасартуға» арналған майлар құрамында наномөлшерлі липосомалар, ал «күнге күйге қарсы» майлар құрамында күн спектрінің УФ-бөлігін жұтатын титан және мырыш оксидтерінің нанобөлшектері болады. Бірақ ешкім нано- TiO_2 тері ішіне еніп, эпидермада (терінің беттік қабаты) майды жаққаннан 8 сағаттан кейін анықталатыны туралы ойланбайды. Мұндай майларды жаппай қолданудан бастап тері қатерлі ісігінің науқастығы, мысалы АҚШ-та 90 %-ға артқаны ғажап емес. Өйткені TiO_2 және ZnO_2 нанобөлшектері өнеркәсіптік қалдықтардың ғана емес, сонымен қатар басқа да органикалық заттардың, соның ішінде майлар мен жасушалы органеллалардың құрамдас элементтерінің фотототығының жоғары эффективті катализаторлары. Сонымен қатар, көмірсулар мен протеиндердің жартылай тотығуы канцерогенді заттардың түзілуіне әкелуі мүмкін. Қазіргі кезде бұл процесті нанобөлшектер бетін модификациялау арқылы басуға тырысуда. Тыныс жүйесі мен теріге қарағанда нанобөлшектердің ішек-қарын жолындағы әрекеті аз зерттелген, олардың ағзадан тез шығарылатыны ғана белгілі.

Түрлі нанобөлшектер туралы жиналған білімге сүйене отырып, олардың адам денсаулығына зиянды әсерінің үш негізгі себебін бөліп көрсетуге болады. Біріншіден нанобөлшектің негізгі заты улы болуы мүмкін, мысалы, жартылай өткізгіштер нанобөлшектердің коллоидты ерітінділері жағдайында жеке жасушалардың зақымдалу себебі кадмий селенидінің CdSe суда ерігіш бөлшектері болып табылады. CdSe цитоуыттылығы тотығу кезінде бөлінген кадмий мөлшерімен арақатынастық орнатады және ZnS немесе SiO_2 қабыршағымен қаптағанда көп есе азаяды. Басқа мысал ретінде бериллий оксидінің, металды бериллидің және оның қосылыстарының ультрадисперсті бөлшектерін келтіруге болады. Олармен дем алу баяу дамиды және өлімге әкелетін өкпе ауруын – бериллозды тудырады. Ал тұтас BeO инертті және денсаулыққа зиянсыз материал. Бұл оксидтің жоғары реакциялық нанобөлшектері өкпе жасушаларына барып, фосфатазаны ингибирлейтін және жасушалардың өлуін тудыратын ерігіш Be^{2+} фосфатты комплексін береді.

Екіншіден, ағзаға енген нанобөлшектер өздігінше зиянсыз болғанымен, олардың кейбіреулері улы заттардың түзілуінде катализатордың рөлін атқаруы мүмкін. Органикалық заттардың фотототығуын катализдейтін TiO_2 нанобөлшектері және металл (әсіресе, мырыш) безгегін тудыратын кейбір металл оксидтерінің нанобөлшектері дәл осылай әрекет көрсетеді.

Және соңында, заттың ағзаға өзіндік әсері оның нанокүйде болуымен тікелей анықталады. Мысалы, ыдыстар дайындауда кеңінен қолданылатын химиялық инертті және қауіпсіз фторопласт полимері ауада диаметрі 26 нм нанобөлшектер күйдегі өте аз концентрацияда-ақ (60 мкг/м^3) өкпеде қан құйылуын тудыратын егеуқұйрықты 30 минутта өлтіруге қабілетті. Фторопластты нанотозаң ауадағы концентрациясы 500 мкм/м^3 болғанда

егеуқұйрықты жарты сағатта өлтіретін жүйке байлаушы әсері VX әскери улағыш затына қарағанда бірқатар улы екеніне сену қиын!

Кремний диоксидінің SiO_2 нанобөлшектерінің аэрозольдерімен дем алу силикозды өкпенің созылмалы бұзылуын тудырады, ал макрокристалды күйде ол мүлде қауіпсіз – бұл әдеттегі құм. Сонымен, нанобөлшектер спецификасы үшін химиясы (үзілген байланыстар, адсорбцияланған молекулалар) көлемдік материалдың химиясынан ерекшеленетін бет рөлі өте маңызды. Сонымен қатар, нанобөлшектер жасушаға еніп, түрлі органикаларға жабысып, ДНК-ны деформациялауға қабілетті болады да, құрылымдық күйзелістер мен мутацияларды тудырады.

Наноуыттылық дәрежесінде белгілі бір маңызға нанобөлшектер формасы ие. Анизатропты нанобөлшектер (мысалы, асбест талшықтары) фиброз бен өкпе қатерлі ісігі қауіпінің артуымен ассоцияланады. Көміртекті нанотүтіктер аэрозолі тышқандар өкпесіндегі талшықтар өсуіне және біріктіруші ұлпаның қалыңдай түсуіне әкеледі. Сонымен қатар нанотүтіктер эпидермисіне түсіп, тері жасушасының ісіп қызару үдерістерінің модуляторы болып табылатын цитокиннің бөлінуін тудырады.

Өкінішке орай, нанокұрылымданған материалдардың улы дозалары белгісіз – олардың тек ең улылары үшін өлімге алып келетін дозасының төменгі шегін ғана анықтауға болады. Ол үшін әскери тәжірибелерге сүйену қажет. Олар өздерінің зерттеулерінде ең улы заттардың өлімге алып келетін дозаларын олардың молярлы массаларымен байланыстыратын токсоида деп аталатын эмпирикалық функцияны қолданады. Оның «өлімге алып келетін дозалы логарифмі – молярлы масса логарифмі» координаталарындағы графигі түзу түрге ие (сурет.). Барлық химиялық заттар бұл түзуден жоғары орналасады деп саналады, одан төмен зат жоқ, ал токсоиданың өзіне берілген молярлы массалы ең улы заттар түседі. Нанобөлшектер болуы мүмкін аудан **суретте** белгіленген.

Сонымен, бүгінгі таңда наножүйелер уыттылығы зерттелмеген. Ғалымдарға болашақта ғалымдар нанокұрылымды заттардың улы дозаларының анықталатынына, оларға қарсы тиімді қорғау әдістерінің табылатынына үміттену ғана қалып тұр, ал әзірше нанообъектілермен жұмыс жасау кезінде абайлық таныту қажет.