

A MÉLYEBB TÜDŐRÉGIÓKBÓL TISZTULÓ RADON- LEÁNYTERMÉKEK DÓZISJÁRULÉKA A CENTRÁLIS LÉGUTAKBAN

Kudela Gábor¹, Balásházy Imre²

¹*Technoorg Linda Kft., 1077 Budapest, Rózsa utca 24*

²*Magyar Tudományos Akadémia KFKI Atomenergia Kutatóintézet, Sugárvédelmi és Környezetfizikai Laboratórium, 1121 Budapest, Konkoly Thege M. út. 29-33*

Bevezetés

Epidemiológiai és kísérleti tanulmányok szerint ok-okozati összefüggés van a radon-expozíció magas szintje és a tüdőrák átlagosnál nagyobb előfordulási gyakorisága között⁽¹⁾. A hiszto-patológiai adatok szerint, a radon-indukálta tumorok rendszerint a centrális légutak első néhány generációjában fordulnak elő, leginkább a légúti elágazások csúcaiban⁽²⁾. Numerikus módszerekkel sikerült kimutatni, hogy a belélegzett részecskék depozíciósűrűség-eloszlásának maximumai is ezen elágazások csúcaiban találhatóak⁽³⁾. Ez arra enged következtetni, hogy a primer kiülepedés-eloszlás és a rák-kialakulás között szoros a korreláció. Felmerül azonban a kérdés, hogy a mélyebb tüdőrégiókban kiülepedett és onnan a mukociliáris tisztulással felfelé, azaz a garat felé, a nyákréteggel haladó radonleánytermékek dóziszjáruléka a centrális légutakban nem adódhat-e érdemben hozzá a centrális légúti tüdőrák kialakulásának kockázatához. Azaz a primer depozícióhoz képest elhanyagolható-e a mukociliáris részecsketranszport okozta centrális légúti terhelés. Mukociliáris tisztulás alatt a bronchiális légutak falát borító nyákrétegnek a gége irányába történő mozgását és ezáltal a falra tapadt részecskék „kimosását” értjük⁽⁴⁾. A nyák mozgását a hámszövetbe ágyazott csillószőrök összehangolt mozgása biztosítja. A rövid felezési idejű radonszármazékok esetében a mukociliáris gyors tisztulás a legfontosabb tisztulási mechanizmus.

Jelen munka célja egy inhalált radonleánytermék tisztulási modell kifejlesztése és alkalmazása a fenti kérdés vizsgálatára.

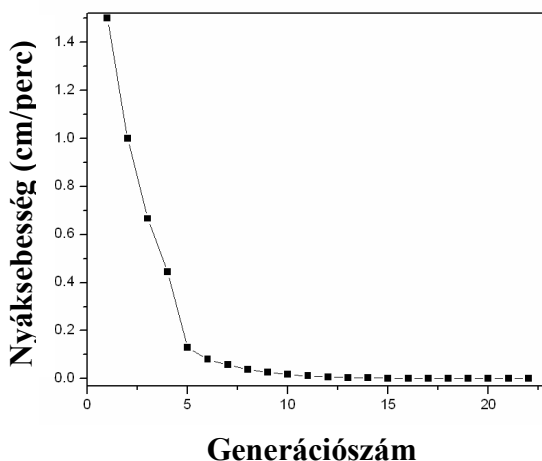
Módszerek

A tisztulás modellezéséhez szükségünk van a primer depozíciós adatokra, vagyis annak ismeretére, hogy az egyes légúti generációkban milyen hatásfokkal ülepednek ki a belélegzett radonleánytermékek. Ennek számítására a sztochasztikus tüdőmodell legújabb verzióját alkalmaztuk⁽⁵⁾. A kiülepedés kvantitatív jellemzésére kiülepedési frakciókat számoltunk. Kiülepedési frakció alatt az adott generációban kiülepedő és a belélegzett részecskék számának arányát értjük. A részecske-kiülepedést alvó állapotnak és könnyű fizikai munkának megfelelő légzési körülmények mellett modelleztük. Szakirodalmi forrásokra támaszkodva⁽⁶⁾ a radonszármazékok ki nem tapadt hányadát 1 nm, a kitapadt hányadát pedig 200 nm aerodinamikai átmérőjűnek vettük. Az előző

a ki nem tapadt radonleánytermékek leggyakoribb átmérője, a második pedig a környezeti aeroszolok számszerinti eloszlásának leggyakoribb átmérője, aerodinamikai átmérő skálán.

A tisztulás szimulálásához alapvetően két paraméter légúti generációnkénti eloszlására van szükség: a nyák sebességének és a légutak generációnkénti hosszának eloszlására. Mindkét adatsort a már említett⁽⁵⁾ referenciából merítettük. A morfometriai adatok a sztochasztikus tüdőmodellbe integrált Lovelace adatbázisból származnak⁽⁷⁾. A nyák sebességeloszlását a generáció függvényében az *1. ábra* szemlélteti. A tisztulást a generáció-specifikus tisztulási frakcióval jellemeztük. A tisztulási frakciót a mélyebb régiókból az adott generációba felszállított részecskék és a belélegzett részecskék számának arányaként értelmeztük. A tisztulás közben elbomlott rövid felezési idejű radon leányelemeket természetesen csak azon légúti generációk tisztulási frakciójánál vettük figyelembe, amelyeknél még nem bomlottak el. A bronchiális légutak légúti generációs száma 1–22 között változhat a sztochasztikus tüdőmodellben. A tisztulási frakciók kiszámítására egy FORTRAN nyelvű programot írtunk.

Néhány további felhasznált irodalmi adat: a nyákréteg átlagsebessége a légsőben 15 mm/perc, ezen átlagsebesség légúti generációnként a $2/3$ -ára csökken, a légúti generációk átlagos hossza a sztochasztikus tüdőmodellel számítható, valamint feltételeztük, hogy a nyák a bronchus terminalis végén termelődik és valamennyi részecske együtt mozog a nyákkal.



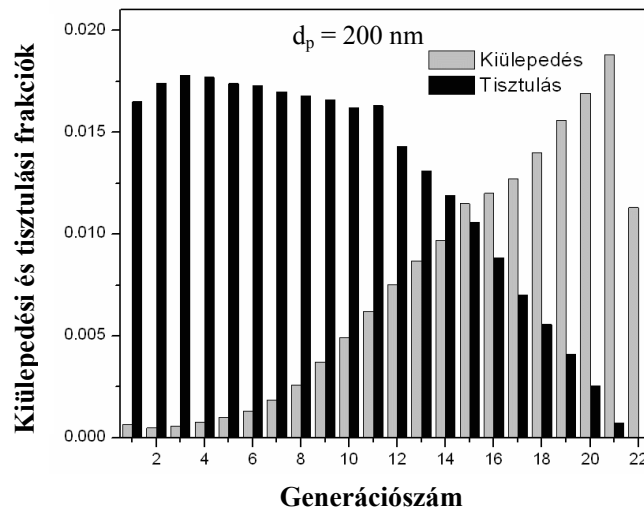
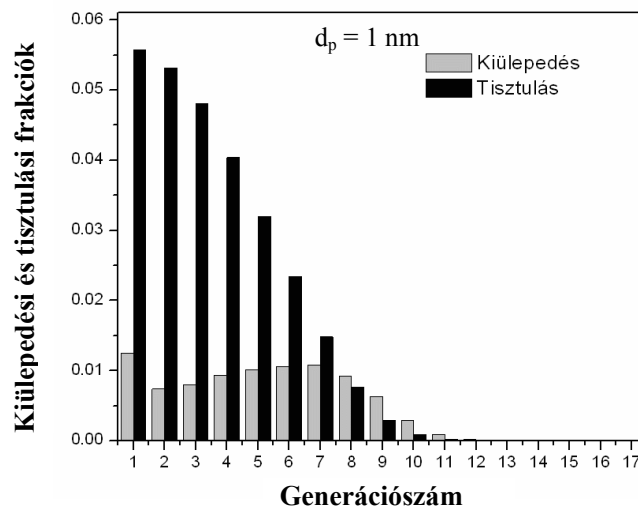
1. ábra: A nyákréteg átlagsebessége a légúti generációs szám függvényében. A légső az 1. generációt jelenti.

Eredmények

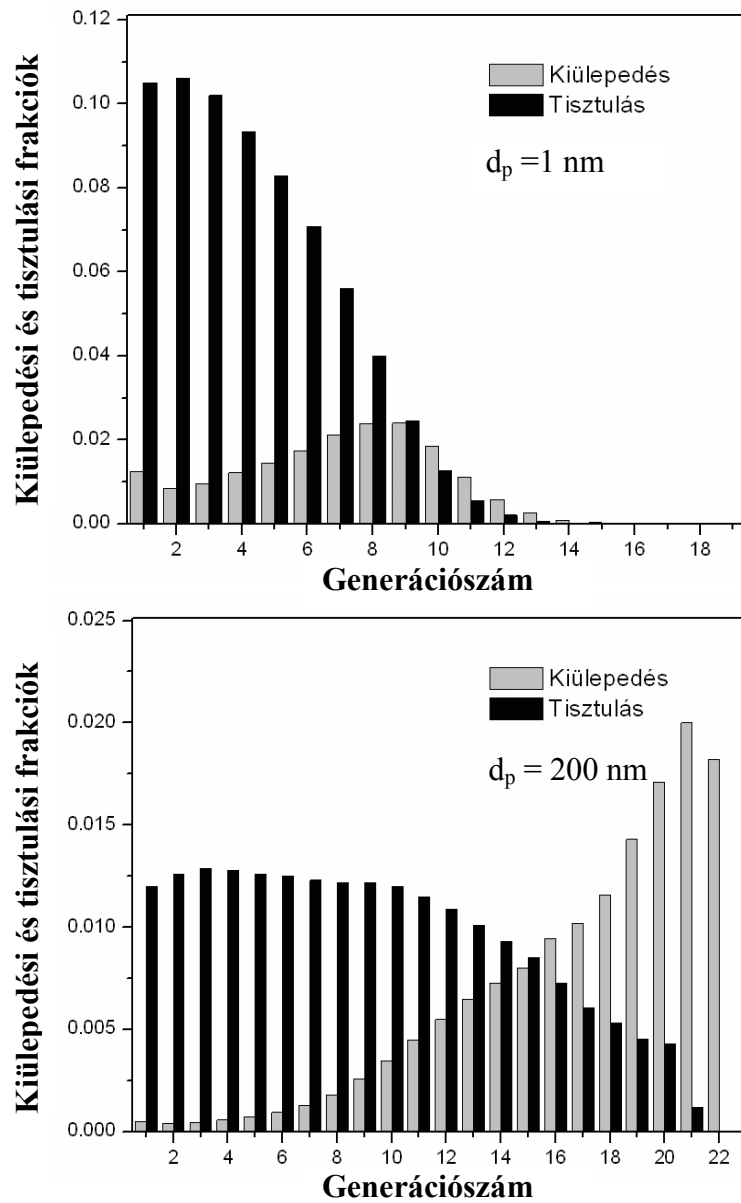
A számításokat felnőtt egészséges emberre végeztük el, alvásnak és könnyű fizikai munkának megfelelő terhelésekre. Hölgyek és férfiak között nincs számottevő

különbség. valamennyi számítás egyelőre csak az ^{214}Pb izotópra vonatkozik. A többi radonleánytermék, azaz a ^{218}Po és a ^{214}Bi tisztulását is tervezzük számolni a közeljövőben e modellel. A ^{214}Po tisztulásából származó terhelésjárulék már a szomszédos légúti generációban is elhanyagolható a ^{214}Po rövid felezési ideje ($164\ \mu\text{s}$) miatt.

Az általunk számított kiülepedési és tisztulási frakciókat a 2. és 3. ábrák szemléltetik. A 2. ábra az alvó légzési módnak megfelelő kiülepedési és tisztulási frakciókat mutatja, a ki nem tapadt (felső panel) és kitapadt (alsó panel) komponensekre.



2. ábra: Kiülepedési és tisztulási frakciók a generációs szám függvényében alvóknak megfelelő légzési viszonyok mellett. Mindkét frakció a belélegzett részecskeszámra vonatkozik. Felső panel: ki nem tapadt hányad ($d_p = 1\ \text{nm}$); alsó panel: kitapadt hányad ($d_p = 200\ \text{nm}$); d_p – aerodinamikai részecskeátmérő.



A 2. ábra felső panelje tanúsága szerint a nano-részecskék felsőbb légúti diffúziós kiülepedése igen intenzív és így a részecskéknek csak egy kis hányada jut le a mélyebb régiókba. A 12. generáció után már gyakorlatilag nincs depozíció, ugyanis a diffúzióknak köszönhetően minden részecske már kiülepedett. Ezért, a magasabb generációs számokra jellemző tisztulási frakciók is alacsonyak. Ellenben, az első pár generáció tisztulási frakciója többszöröse a megfelelő primer kiülepedett frakciónak.

A kitapadt hányad esetében már nagyobbak a mélyebb régió kiülepedési frakciói (1. ábra alsó panel). A tisztulás következtében az első pár légúti generáció terhelése egy nagyságrenddel nagyobb, mint a primer depozícióból adódó terhelés.

Könnyű fizikai munka esetén (3. ábra), a nagyobb levegősebesség miatt a ki nem tapadt radioizotópok mélyebbre juthatnak, mint alváskor. Ugyanakkor, a nagyobb légutak tisztulási frakciói megduplázódnak az alvó légzési módra számítottéhoz képest. A kitapadt frakció esetében a kiülepedési és tisztulási frakciók nem térnek el jelentős mértékben az alvó körülményekre szimulálttól. A főhörgők és szegmentális hörgők esetében a feltisztult részecskék terhelése továbbra is egy nagyságrenddel nagyobb, mint a primer kiülepedett részecskéké.

Következtetések és további tervek

E munka fő következtetése, hogy a tüdő mélyebb régióiban kiülepedett és onnan felfelé tisztuló radon-leánytermékek jóval nagyobb terhelést jelenthetnek a centrális légutak hámsajtjeire, mint a centrális légutakban közvetlenül kiülepedett részecskék. Eddig ezzel senki sem foglalkozott. Valamennyi irodalmi dozimetriai és mikro-dozimetriai modell a terhelés ezen komponensét elhanyagolja, illetve nem veszi figyelembe, pedig eredményeink szerint a terhelés ezen komponense akár egy nagyságrenddel nagyobb lehet a primer depozícióból származó terhelésnél.

Mivel a mucos sebessége csak a centrális légutakban elég nagy ahhoz, hogy közben ne legyen ideje lebomlania a felfelé tisztuló mélyebben kiülepedett radonleánytermékeknek, ezért a tisztulás erősen hozzájárulhat ahhoz, hogy uránbányászoknál a centrális légutakban volt a legnagyobb a malignáns tumorok előfordulásának gyakorisága.

Az, hogy a felfelé tisztuló és mélyebben kiülepedett radonleánytermékek dóziszjáruléka a centrális légutakban nagyobb, vagy jóval nagyobb mint a primer depozícióé, még nem jelenti azt, hogy a maximális terhelést elszenvedő sejtkörnyezetek dóziszjáruléka főként a felfelé tisztuló komponensből származna. Ennek oka, hogy a primer depozíció nagyságrendekben inhomogén terhelést jelent. A tisztulás inhomogenitásáról nincs pontos adatunk. Az irodalmi kísérleti adatok alapján annyi mondható, hogy a tisztulás lassúbb, vagy jóval lassúbb az elágazások csúcsában, mint máshol. Ami azt jelentheti, hogy épp ott jelentős a tisztulásból adódó feldusulás, ahol a primer depozíció is nagy.

A modellt az úgynevezett lassú tisztulási mechanizmus figyelembevételére is tovább tervezzük fejleszteni. Ezenkívül vizsgálni szeretnénk numerikus áramlástani (CFD) számítások segítségével a nyak légúti generáción belüli mozgásának hatását a

terhelésre. Végül, a tisztulási modellt integrálni szeretnénk csoportunk komplex, CFD alapú mikrodozimetriai modelljébe.

Köszönetnyilvánítás

Munkánkat az NKFP-3/A-089/2004, NKFP-1/B-047/2004. GVOP-3.1.1-2004-05-0432/3.0 2 u'c| "QO HD/6674229"projektek támogatták, melyek segítségével ezúton is köszönjük.

Irodalom

1. BEIR VI Report: Health effects of exposure to radon. Washington D.C.: National Academy Press, (1999)
2. A. Churg, S. Vedal: Carinal and tubular airway particle concentration in the large airways of non-smokers in general population: evidence for high particle concentration at airway carinas, *Occupational and Environmental Medicine* 53, (1996), 553–558
3. Á. Farkas, W. Hofmann, I. Balásházy, I. Szöke: CFD as a tool in risk assessment of inhaled radon progenies, *Radiation Protection Dosimetry* 120, (2007). doi:10.1093/rpd/ncl399.
4. B. Asgharian, W. Hofmann, F. J. Miller: Mucociliary clearance of insoluble particles from the tracheobronchial airways of the human lung, *Journal of Aerosol Science* 32, (2001), 817–832
5. L. Koblinger, W. Hofmann: Monte Carlo modelling of aerosol deposition in human lungs. Part I: Simulation of particle transport in a stochastic lung structure, *Journal of Aerosol Science* 21, (1990), 661–674
6. T. Haninger: Size distributions of radon progeny and their influence on lung dose. Radon and Thoron in the Human Environment, Proceedings of the 7th Tohwa University International Symposium, Editors: Katase A. and Shima M., Publisher: World Scientific Singapore, New Jersey, London, Hong Kong, (1997).
7. O.G. Raabe, H.C. Yeh, G.M. Schum, R.F. Phalen: Lovelace Foundation Report LF-53 (1980).