

RADONSZÁRMAZÉKOK LOKÁLIS LÉGÚTI TERHELÉSÉNEK MODELLEZÉSE KÜLÖNBÖZŐ TÜDŐBETEGSÉGEK ESETÉN

Farkas Árpád, Balásházy Imre

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

Bevezetés

A természetes forrásokból származó sugárterhelés több mint felét a radon és rövid felezési idejű leányelemei szolgáltatják⁽¹⁾. E radioizotópok belégzéssel a tüdőbe jutnak és megtapadhatnak a légutak falán. A légutak védelmét szolgáló különböző tisztulási folyamatok ellenére, a kiülepedett radonszármazékok egy jelentős része helyben elbomolhat és károsíthatja a hámszövetet. A sugárzásnak kitett szövetben lejátszódó biológiai folyamatok tanulmányozásához szükség van a radionuklidok pontos kiülepedés-eloszlásának és aktivitás-eloszlásának ismeretére. Korábbi munkáink azt igazolják, hogy a numerikus áramlástan (CFD) alapú modellek alkalmasak e feladatra⁽²⁾. Előző CFD számításaink szerint a radionuklidok okozta lokális terhelés erősen függ a légzési paramétereiktől, a tüdő morfológiájától és a hordozó részecskék tulajdonságaitól⁽³⁾.

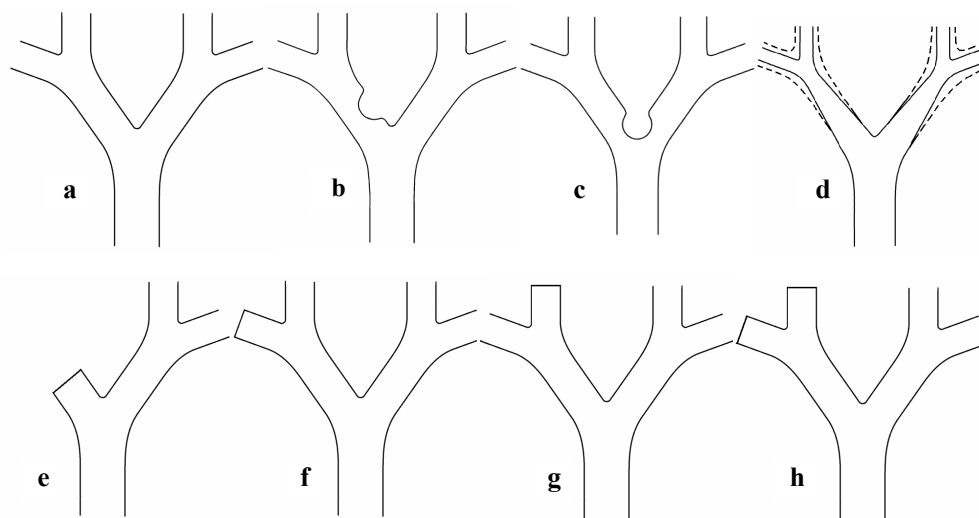
A beteg tüdő morfológiája lényegesen eltérő lehet az egészségesétől⁽⁴⁾. Olyan betegségek, mint a krónikus bronchitis, az emphysema, az asthma bronchiale, a cystic fibrosis, a bronchiectasia, bronchiolitis obliterans, vagy a tumorok befolyásolják a belélegzett részecskék dinamikáját és kiülepedését, ezért ilyen esetekben a radonszármazékok mikrodozimetriája is sajátos.

E munka célja a különböző légúti betegségek lokális radioaeroszol-kiülepedésre gyakorolt hatásának tanulmányozása, a beteg légutak falára kiülepedett radonszármazékok terhelésének mennyiségi jellemzése.

Módszerek

A munka első lépését a megfelelő háromdimenziós légúti geometriák megszerkesztése jelentette. Jelen tanulmányban a tracheobronchiális fa Weibel modell szerinti 3–5. légúti generációját rekonstruáltuk⁽⁵⁾. Az egészséges légutakból kiindulva tumoros, elszűkült és elzáródott légutakat hoztunk létre. A háromdimenziós egészséges és beteg légutak fősíkjaikat az *1. ábra* szemlélteti. Az ábrán látható geometriákat egy inhomogén, matematikai háló létrehozásával diszkretizáltuk. Az általunk alkalmazott tetraédes térháló főbb jellemzői a strukturálatlanság, az inhomogenitás és a perem-adaptáltság. A diszkrét térfogatelemekben numerikus módszerekkel megoldottuk a Navier-Stokes és folytonossági egyenleteket a légúti levegőáramok áramlási terének meghatározására. A radionuklidok légúti transzportjának és kiülepedésének szimulációjához számítottuk a belélegzett radioaktív részecskék pályáit. A légúti kiülepedés mennyiségi jellemzésére kiülepedési határfok és kiülepedési frakció értékeket határoztunk meg,

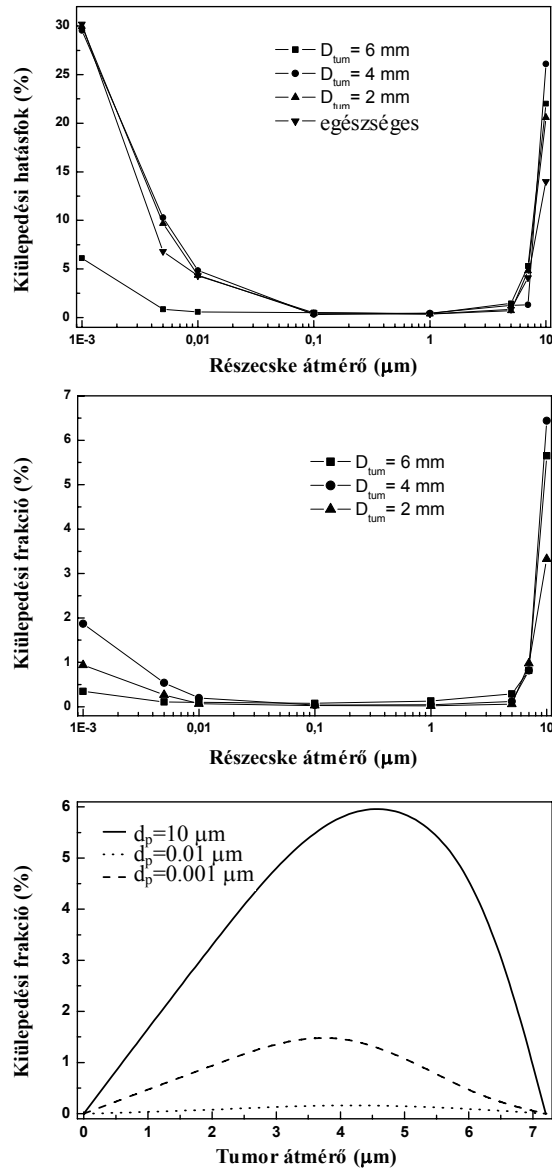
o kpf "ggészséges, mind beteg légutak esetében. Értelmezés szerint, kiülepedési határfok c₁w'a tanulmányozott geometriában kiülepedett és az oda belépő részecskék'uj^a má/nak arányát értjük. Ugyanakkor, a kiülepedési frakciót a légutaknak valamely'szaka/uj^a ban kiülepedő és c'i gqo gw^k dc'belépő részecskék számának aránya adja.



1. ábra: Egészséges és beteg centrális légutak szimmetriasíkjai. a) egészséges; b) tumoros (oldal tumor); c) tumoros (centrális tumor); d) összeszűkült; e) elzárult (4. generáció); f) elzárult (5. generáció, külső); g) elzárult (5. generáció, belső); h) elzárult (5. generáció, külső és belső).

Eredmények

Az oldaltumorok a részecske kiülepedésre gyakorolt hatását a kiülepedési határfokon és a tumorra vonatkoztatott kiülepedési frakción keresztül vizsgáltuk. Eredményeinket a 2. ábrán foglaltuk össze. Az ábra felső panelje a kiülepedési határfokot, mint a részecskeméret függvényét mutatja egészséges légutakra és három különböző tumorméretre. Látható, hogy addig, amíg a 0,1–1 µm-es részecskeméret tartományban az oldaltumor nem okoz különösebb depozíciós határfok-eltérést, addig a kis (nano) és nagy (több mikron) átmérőjű részecskék kiülepedési határfoka jelentősen megváltozik. A radonszármazékok depozíciója szempontjából különösen érdekesek a görbék 1 nm és 0,2 µm körüli részei, amelyek megfelelnek a ki nem tapadt és a kitapadt frakciók méreteloszlási csúcsainak. A 2. ábra rávilágít arra, hogy a nanométeres részecskék kiülepedési határfoka csökken a tumorméret növekedésével. Ennek magyarázata a nanorészecskéknek a levegősebesség növekedése okozta alacsony diffuzivitása. A középső és alsó panel tanúsága szerint a tumorra kiülepedő részecskék száma nő a tumorméret növekedésével, de csak addig, míg a tumor nem foglalja el a lumen felét. A tumorméret további növekedésével a részecske depozíció jelentősen csökken.

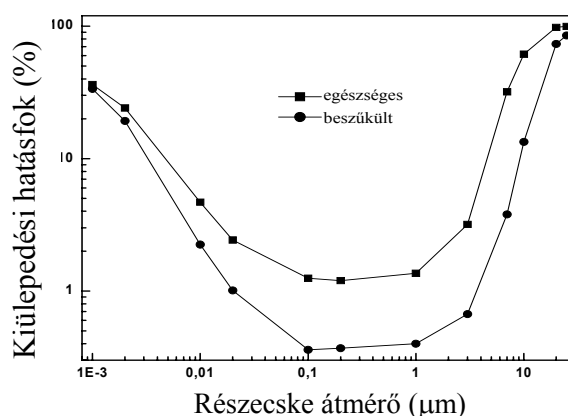


2. ábra: Oldaltumor hatása a kiülepedési hatásfokra és a tumorra számított kiülepedési frakcióra. Felső panel: kiülepedési hatásfok a részecskeméret függvényében egészséges és oldaltumoros légutakra; Középső panel: különböző nagyságú tumorra számított kiülepedési frakciók részecskeméret-függése; Alsó panel: három speciális részecskeméretre számított kiülepedési frakció tumorméret függése.

D_{tum} – tumor átmérő; d_p részecske átmérő.

Szimulációs eredményeink alapján, a centrális tumorok alig befolyásolják a nanorészecskék kiülepedési hatásfokát, de jelentősen növelik azt a több mikronos részecskék esetében. A nanorészecskék tumorra számított kiülepedési frakciója alig nő a tumorméret növekedésével. Ugyanakkor, a centrális tumor jelentősen kiszűri a nagy részecskéket.

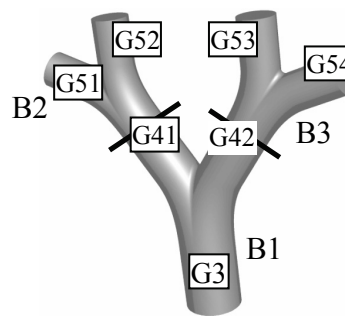
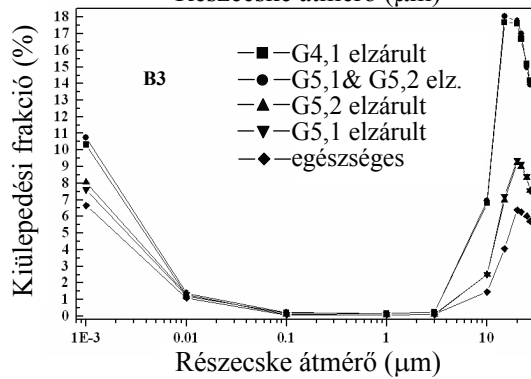
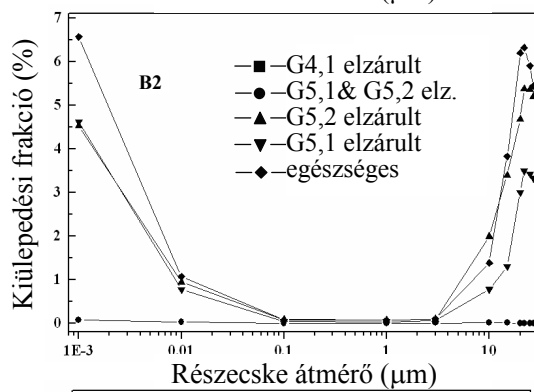
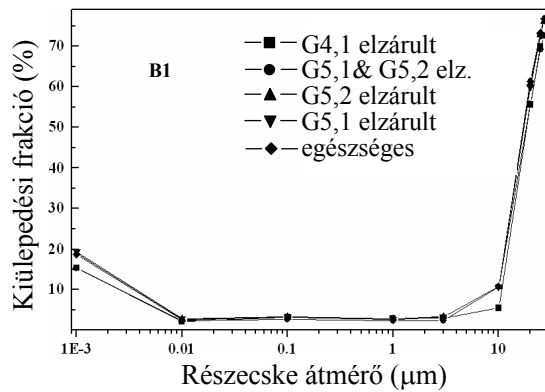
A légutak patológiás elszűkülésének a részecskedepozícióra gyakorolt hatását a 3. ábra szemlélteti. A grafikonon feltüntetett eredmények szerint a szűkület a radonszár-mazékok mindkét frakciójának erőteljesebb légúti depozícióját eredményezi, azonban amíg a kitapadt frakció kiülepedési hatásfoka megháromszorozódik, addig a molekuláris frakcióra számított hatásfok csupán 3 százalékkal nő. A beszűkült légutakban kimutatható intenzívebb részecske kiülepedés többek között magyarázatot adhat a dohányzás és radon szinergisztikus hatásának köszönhető magas kockázatra, vagyis arra, hogy a dohányzás és radon együttes kockázata miért nagyobb, mint e két tényező különálló kockázatának összege. Dohányosoknál ugyanis tüdőszűkület is fellép, ami a jelen tanulmány szerint növeli a radon kiülepedésének hatásfokát.



3. ábra: Egészséges és beszűkült légutakra számított kiülepedési hatásfokok a részecskeméret függvényében.

A légúti elzáródások hatásait négy esetben tanulmányoztuk: a) egy negyedik generációs légút elzáródik; b) egy ötödik generációs külső ág elzáródik; c) egy ötödik generációs belső ág elzáródik; d) egy ötödik generációs külső és egy ötödik generációs belső ág egyszerre elzáródik (lásd az 1. ábra e-h paneljeit). A három elágazásegységre számított kiülepedési frakciókat a 4. ábra szemlélteti. Látható, hogy a B1 elágazásegységre számított kiülepedési frakciók nem változnak jelentősen az elzáródások hatására, kivéve az a) esetet, ahol enyhén csökkennek. Ellenben, a B2 és B3 elágazások frakciói mind a négy esetben módosulnak. A d) esetben gyakorlatilag nincs részecske-kiülepedés a B2 elágazásban. Ugyanakkor, a B3-ra számított frakciók

szisztematikusan nagyobbak, mint egészséges légutakban. A b) és c) esetekben a kiüledett részecskék száma csökken a B2-ben és nő a B3-ban.



A 4 féle elzáródás:

- a: G4,1 elzárul
- b: G5,1 elzárul
- c: G5,2 elzárul
- d: G5,1 és G5,2 elzárul

4. ábra: B1 (felső panel), B2 (középső panel) és B3 (alsó panel) elágazásokra számított kiüledési frakciók. Az ábra jobb oldalán a geometria szegmentálása látható.

Következtetések

Következtetésként elmondható, hogy a CFD alapú modellekkel hatékonyan jellemezhető a légúti geometriák patológiás elváltozásának a radioaeroszolok kiülepedésére gyakorolt hatása. Mind a tumorok, mind a szűkületek, mind pedig a légúti elzáródások jelentősen befolyásolják a részecske-kiülepedést és ezáltal a radionuklidok légzőrendszeri lokális terhelését. Jelen eredmények hasznos információt szolgáltathatnak a radioaktív aeroszolok mikrodozimetriája és egészségügyi hatásának feltárása terén asztmás, tumoros vagy más légúti betegségben szenvedő egyénekre vonatkozóan.

Köszönetnyilvánítás

Munkánkat az NKFP-3/A-089/2004, NKFP-1/B-047/2004.'GVOP-3.1.1-2004-05-0432/3.0²u"QO HD/6674229"projektek támogatták, melyek segítségét ezúton is köszönjük.

Irodalom

1. UNSCEAR 2000 Report: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation, Report to the General Assembly, with scientific annexes. New York: United Nations Publications, (2000)
2. Á. Farkas, W. Hofmann, I. Balásházy, I. Szóke: CFD as a tool in risk assessment of inhaled radon progenies, Radiation Protection Dosimetry 124, (2007), 759/75;
3. Á. Farkas, I. Balásházy, K. Szócs: Characterization of regional and local deposition of inhaled aerosol drugs in the respiratory system by computational fluid and particle dynamics methods Journal of Aerosol Medicine 19, (2006), 329–343
4. P. Magyar, I. Hutás, E. Vastag: Pulmonológia. Budapest: Medicina Kiadó, (1998)
5. E. R. Weibel: Morphometry of the human lung. New York: Academic Press, (1963)