

**Dr. Benkő György** gyógyszerész-őrnagy

## **Adatok az aeroszológia fontosabb sugárbiológiai vonatkozásaihoz**

Az aeroszól fogalom valamely diszperz rendszer fizikai-kémiai állapotát jelöli, amelyben a diszperziós közeg gáznemű anyag, míg a diszpergált fázis szilárd vagy cseppfolyós halmazállapotú lehet. Az aeroszól-állapot instabil, amely bioszféránk körülményei között, elsősorban a gravitációs erő hatására, koncentrált diszperz-rendszerré való átalakulásra törekszik. Ez a folyamat azonban reverzibilis, amelyben — az adott körülményektől függően — hol a felkeveredés, hol a szedimentáció kerül előtérbe, vagy éppen e két jelenség bizonyos egyensúlyt mutat. Alapjában tehát minden légtér, amely nem kizárólag tiszta gázokból áll, aeroszólnak tekinthető. Az aeroszólók fontosabb tulajdonságai közül meg kell említeni a részecskék nagyságát, elektromos töltését, mozgékonyosságukat (Brown-f, mozgás), ülepedését stb. A sugárbiológia és a sugáregészségügy szempontjából elsősorban a levegő aeroszológiai tulajdonságai a legfontosabbak, ezért mind a természetes légkör, mind a szennyezett légkör aeroszológiai változásait kell figyelemmel kísérnünk.

A természetes légkörben, főként a kozmikus sugárzás révén, *levegő-ionokat* találunk, amelyek fizikai tulajdonságaikat tekintve úgy viselkednek, mint egységnyi elektromos töltéssel rendelkező aeroszol-részecskék. A levegőionok a levegőben lebegő semleges (általában víznemű) kondenzációs magoknak is töltést adhatnak át (hidroionok). A szennyezett légkör („*air pollution*”) a kísérleti vagy stratégiai célból alkalmazott radioaktív anyagok termékeiből eredően tartalmazhat *radioaktív aeroszólókat* is. Ettől függetlenül a radioaktív aeroszólók jelenlétével kell számolni néhány klimatológiai, ipari, laboratóriumi tevékenységgel kapcsolatban is (pl. radioaktív bomlástermékeket tartalmazó gőzlok, uránérc bányászat, izotóplaboratóriumok stb.).

### 1. A A levegőionok és szerepük a sugárbiológiában

Mint említettük, a légkör bizonyos tartományaiban a levegő kisebb-nagyobb mértékben ionizált állapotban van, ezért e rétegeket közös névvel ionoszférának nevezik.

A termoszféra E-rétegében (100 km) már igen erőteljes az ionizációs állapot, azonban ez csak a nappali órákban kifejezett, és éjjelre többnyire megszűnik. 150—400 km magasságban levő F-rétegben az ionizáció éjjel is megtalálható, 350 km körül (F—2 réteg) erős naptevékenység esetén 3 millió szabad elektron mérhető  $\text{cm}^3$ -ként. (1.) A kozmikus sugárzás ionizáló tényezői közül a szoláris tényezőket (UV-sugárzás, korpuszkuláris sugárzás, gamma-sugárzás), valamint a radioaktív szennyezésként a légkörbe került anyagokat kell említeni (radium, radon, thorium, thoron).

Kevert energia források, a villámlástól eltekintve, általában a sűrűlódási energia következményeként produkálnak töltéssel rendelkező ionokat (pl. víz-esés, zivatar, hősés). (3., 8.) A vulkáni utóműködésre utaló gőzök (ún. *mofetták*) is tartalmazhatnak radont, és ennek bomlástermékeit (RaA, RaB, RaC stb.), amelyek ionizálják a levegőt. (2.) A klimatológiai sajátosságként előforduló levegőionizációról pl. *Csencova* számol be, aki leírja, hogy a Krím némely pontján pozitív ionizációs túlsúly tapasztalható. (3.)

A levegőionok a légkörben levő elektromostöltésű molekuláris vagy elemi részecskék. Levegőionok akkor keletkeznek, amikor megfelelő energia elmozdít egy elektront valamely gázmolekulából, és a visszamaradó rész pozitív töltést nyer. A szabadon maradt negatív töltésű elektron más gázmolekulához kapcsolódva annak negatív töltést ad (4.). A levegőionok között megkülönböztetünk kis, közepes és nagy (vagy *Langevin*-) levegőionokat. A kis levegőionok a légköri ionizáció közvetlen termékei, ezéért ezeket primer ionoknak is nevezik. Általában 3—10 levegőrészecskéből állnak, melyek egységnyi elektromos töltéssel rendelkeznek. A közepes levegőionok 100—900 levegőrészecskéből állnak, kis levegőionokból keletkeznek koaguláció révén. A levegőionok élettani hatását nagyrészt a közepes levegőionoknak tulajdonítják. A nagy levegőionok több, mint 1000 részecskét tartalmaznak, és rendszerint többszörös elemi töltéssel rendelkeznek (3., 8., 9.). Az atmoszféra levegőion koncentrációja normális körülmények között 500—2000 levegőion/levegő ml. A pozitív és negatív levegőionok száma (ún. unipolaritási hányados) határozza meg a különböző töltésű levegőionok arányát (6., 7., 8.).

A meteorológiai viszonyok nagyban befolyásolják a levegőionok keletkezését és méreteit, pl. párás, ködös időben a nagy levegőionok növekedése exponenciális. Derült, napos időben a kis- és közepes levegőionok a sugárzás intenzitásával párhuzamosan keletkeznek. Napkitérés után a kis és közepes levegőionok között több a negatív ion, mint a pozitív, viszont a nagy levegőionoknál pozitív túlsúly található. (3., 5.)

A levegőionok biológiai tulajdonságaival az elmúlt 30—40 évben már többen foglalkoztak. Ezekről az eredményekről, a teljességre törekvés igénye nélkül, az I. táblázat nyújt áttekintést.

A levegőionok az emlős szervezetre tett hatásmechanizmusáról megállapították (*Szokoloff*, 1951; *Krueger és Smith*, 1957; *Vasziljev*, 1960 és mások), hogy a levegőionok hatásukat csak légzőszervek útján fejti ki. Ez a hatásmechanizmus lehet reflexes, a tüdő interceptorok izgatása révén, vagy humorális, a véráramon keresztül (10., 11., 12.).

A levegőionokkal történő terápiás kezelés főbb indikációi ugyan megtalálhatók az I. táblázatban, azonban arra a kérdésre, hogy mindez milyen szerepet játszik vagy játszhat a sugárbiológiában — a levegőionok fizikai és biológiai tulajdonságainak ismeretében — kevés magyarázatot adott. A besugárzott szervezet reakciójával a levegőion kezelés hatására eddig *Szerova és Fedotova* (1964.) foglalkozott (*cit.* 6.) A szovjet kutatók profilaktikusan kezeltek patkányokat levegőionokkal, majd 700 R gamma egésztést besugárzást alkalmaztak. A túlélést vizsgálva a mortalitás csökkentését tapasztalták a profilaktikusan kezelt állatoknál a kontrollhoz viszonyítva. A levegőionok és az áthatoló sugárzás kapcsolatának felderítését fontos tényezőnek kell tartanunk akkor is, ha nukleáris katasztrófa gondolunk. Ilyen esetben előfordulhat, hogy a sugárzó termékek hosszab-

## A levegőionok fontosabb biológiai tulajdonságai. (Irodalmi adatok.)

Biológiai effektus:	Irodalom:
A negatív levegőionok serkentik, a pozitív levegőionok késleltetik a sejtnövekedést <i>in vitro</i> .	J. L. Worden, J. R. Thompson (1956).
A negatív levegőionok gátolják a patogén csírák és gombák fejlődését, baktericid, ill. fungicid tulajdonsággal rendelkeznek: <i>Micrococcus pyogenes var. aureus</i> , <i>E. coli</i> , <i>Vibrio cholerae</i> , <i>Salmonella typhosa</i> , <i>Neurospora crassa</i> , <i>Serratia marcescens</i> , <i>Penicillium notatum</i> stb.	R. Fuerst, R. J. Ball (1955), K. H. Kingdon (1960), Krueger, A. P., R. F. Smith, I. G. Go (1957), G. Phillips, G. J. Harris, M. W. Jones (1964), R. Pratt, R. W. Barnard (1960), A. L. Csijevszkij (1933—34) és mások.
Levegő csírátlantási kísérletek: negatív levegőionok hatására csökkent a patogén csírák száma, ill. nem haladta meg a megengedett mértéket.	Novák J., Biró Gy., Gavallér L., Sváb F. (1967—69).
Ionizált levegő serkentő hatása a növények fejlődésére ( <i>Avena sativa</i> , <i>Pisum sativum</i> , <i>Hordenum vulgare</i> ), feltehetően a citchrom C oxidáz aktivizálása révén.	A. P. Krueger, S. Kotaka, P. C. Andriese (1963—64)
A trachea és a vér szerotonin szintjének befolyásolása, ill. a csillósörös tevékenység alakulása levegőionok hatására.	A. P. Krueger, R. F. Smith, P. C. Andriese, S. Kotaka (1958, 1960).
Pozitív levegőionok hatására vérnyomás növekedés tapasztalható; növekszik a szérum globulin szint, míg a szabad koleszterol és az albuminok szintje csökken. Negatív ionok hatására csökken a globulin szint, viszont az albumin szint növekedést mutat.	L. Erban (1958), F. Illényi (1937).
Pozitív ionok inhalációja esetén a vér pH értéke csökken, acidózis lép fel; negatív ionok a vér pH-ját alkalikus irányba tolják el. A hypertonia csökkentése tapasztalható levegőionok (negatív) hatására.	A. L. Csijevszkij (1934, 1951), F. G. Portonov.

Biológiai effektus:	Irodalom:
Vegetatív idegrendszer labilitásának csökkenése negatív ionok hatására.	<i>J. L. Lacey</i> (1956).
Negatív ionterápia alkalmazása allergiás és egyéb légzőszervi megbetegedésekben: <i>Asthma bronchiale</i> , <i>Bronchitis spastica</i> , <i>Bronchitis chronica</i> , <i>Rhinitis vasomotorica</i> , <i>Emphysema</i> tbc.	<i>Brandon</i> (1932), <i>E. Köhler</i> (1956), <i>A. L. Csijevszkij</i> (1937), <i>G. G. Lombardo</i> (1962), <i>Y. Platti</i> , <i>E. DeNour</i> , <i>A. Abramov</i> (1966), <i>Román Gy.</i> (1959), <i>Hajós M.</i> (1963) és mások.
Negatív ionterápia alkalmazása klinikumban, égetteknél stb.	<i>J. R. Minehart</i> , <i>T. A. David</i> , <i>I. H. Kornblueh</i> (1958, 1961, 1962), <i>A. J. Levine</i> , <i>M. Finkel</i> , <i>Levine, M.</i> , <i>Finkel, J.</i> , <i>Handler, W. I.</i> , <i>Fishbein</i> (1961), <i>Novák J.</i> , <i>Biró Gy.</i> , <i>Gavallér L.</i> , <i>Sváb F.</i> (1967).
Ionterápia a hyperthyreosis kezelésében.	<i>Balogh M.</i> (1968).
Iontherápia a duodenális fekély kezelésében.	<i>C. M. Deleanu</i> , <i>T. Frits</i> , <i>E. Florea</i> (1965).

rövidebb ideig ionizálhatják adott terület levegőjét. A levegőionizáció akkor is magas lehet, ha a szervezetre veszélyes sugárdózis egyébként alacsony szintet mutat, ami egyben azt is jelentheti, hogy a szervezet egyéni érzékenységétől függően a vegetatív idegrendszer reakcióival is számolni kell. A probléma részletesebb tisztázására a jövőben az alábbi kérdésekre kell választ keresni: különböző sugárdózisok és sugárkvalitások, valamint a levegőionizáció (pozitív és negatív levegőionok) kölcsönhatása a besugárzott szervezetben; alacsony sugárdózissal besugárzott szervezet és hosszabb ideig tartó levegőionizáció kölcsönhatása (13.).

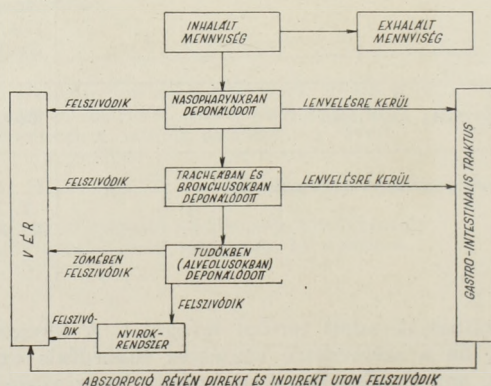
## 2. Az elektroaeroszólók jelentősége a radioaktív aeroszólók inhalatumainak eliminációjában

Az aeroszólóknak, így a radioaktív aeroszólóknak is a szervezetre gyakorolt hatásában a depozíció (szedimentáció) jellemző. Élettani szempontból a szedimentáció felelős a respirációs traktusban végbemenő szelektív lecsapódásért. A radioaktív aeroszólók szervezetben történő felszívódására számos tényező hat:

- az aeroszól-részecskék nagysága, nagyságrendi megoszlása, valamint azok fizikai-kémiai jellemzői;
- az aeroszól-részecskék elektromos tulajdonságai (töltése);
- az aeroszól mennyisége és a belézés időtartama;
- a szervezet védekezőképessége.

Az aeroszól-részecskék, a levegőionokhoz hasonlóan, elektromos töltéssel rendelkeznek. Az aeroszól-részecskék elektromos töltésüket diszpergálásuk során nyerik (*balloelektromosság*); minél nagyobb a porlasztó erő, annál több negatív és pozitív töltésű aeroszól-részecske keletkezik, és az egységnyi levegő ml-ben annál kevesebb lesz a semleges aeroszól-részecskék száma. Az unipoláris töltéssel rendelkező aeroszól-részecskék jobb depozíciós képességgel rendelkeznek, mint a bipoláris töltésű, illetve semleges részecskék. (16.)

Az inhalált aeroszól-részecskék felszívódását és eliminációját a szervezetben az ICRP II. Bizottságának jelentése alapján az 1. ábrával szemléltethetjük.



A légzőszervek biológiai szűrőt képviselnek az inhalált aeroszól-részecskékkel szemben. A szűrés alapvető tényezői a légutak átmérőjének és áramlási viszonyainak változásai (18.). A 20 mikronnál nagyobb részecskék az orrjáratban elakadnak, és a mélyebb légutakba gyakorlatilag nem jutnak el. A II. táblázat *Chalabreysse* adatait (19.) tartalmazza az inhalált radioaktív aeroszól-részecskék  $0/0$ -os depozíciójára és a részecske átmérőjére vonatkozóan.

## Meghatározott méretű aeroszól-részecskék %-os depozíciója a légutakban

Részecske- méret (át- mérő mik- ronban):	Az inhalált anyag %-os depozíciója		
	Nasopharynx	Trachea, bronchusok	Tüdők
0,1	1	8	55
0,5	20	8	30
1,0	30	8	20
2,0	50	8	18
5,0	75	8	15
10,0	90	8	—
20,0	95	—	—
50,0	99	—	—

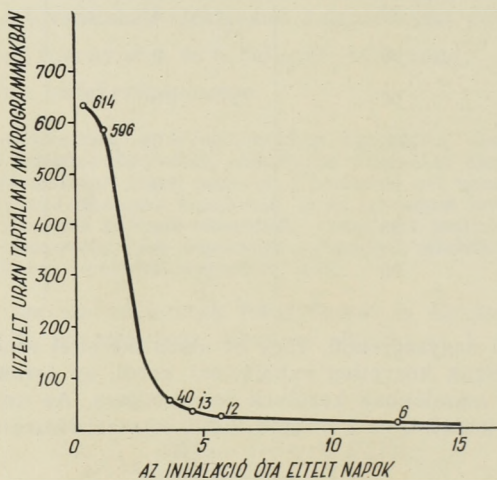
Az 1 mikron nagyságrendű, vagy ez alatti mérettel rendelkező részecskék, bár nagyrészüik közvetlen exhalációra kerül, az aeroszól hatás szempontjából döntő százalékban kerülnek felszívódásra. Az unipoláris elektromos töltés teszi lehetővé az 1 mikron alatti aeroszól-részecskék depozícióját és felszívódását.

A II. táblázatból szembetűnő, hogy a trachea és a bronchusok a különböző méretű aeroszól-részecskéket 8—8<sup>0</sup>/<sub>0</sub>-ban tartják vissza. Ennek oka az aeroszól-részecskék alakjában és a légutak áramlási viszonyaiban keresendő. Az aeroszól-részecskék általában gömbalakúak, vagy legalábbis a gömbalak dimenzióját megközelítők. A légutak áramlási viszonyait a bronchusok átmérőinek változásai szabályozzák, pl. a másodrendű bronchusok átmérőjének csökkenése az elsőrendű bronchusokhoz viszonyítva az áramlási sebesség meggyorsulását okozzák, viszont a negyedrendű bronchusoknál jelentősen csökken az áramlási sebesség, mert a bronchusok átmérője megnő. Az aeroszól-részecskék depozícióját befolyásolja a levegő áramlása is a respirációs traktusban, amely nem lamináris, hanem turbulens. A turbulens áramlási forma következtében adódik a depozíció értéke 8<sup>0</sup>/<sub>0</sub>-nak a tracheában és a bronchusokban. (II. táblázat)

A 2 mikron vagy ez alatti mérettel rendelkező aeroszólók lejutnak az alveolusokba. Az alveolusokba került aeroszólók Brown-f. mozgások révén eljutnak az alveolus falához, ahol megtapadnak. Az alveoláris levegő cseréje lassú, kb. 50—110 másodperc alatt megy végbe, ami lehetővé teszi a részecskék többségének depozícióját. Az alveolusokat sűrűn behálózó kapillárisok (összfelületük mintegy 10 m<sup>2</sup>!) útján kerülnek az aeroszól-részecskék a véráramba, illetve a felszívódni nem képes aeroszól-részecskék a makro-fagok révén kerülnek a nyirokkeringésbe.

A radioaktív aeroszólók jól oldódó részei viszonylag gyorsan ürülnek a szervezetből, amint azt az uránvegyületekkel végzett vizsgálatok bizonyítják. *Chalabreysse* (22.) vizsgálatai szerint a vizelettel ürülő uránszennyeződések exponenciális görbe lefolyását követi (2. ábra).

Az alveoláris makrofágok eliminációs tevékenységében betöltött szerepével többen foglalkoztak. A radioaktív aeroszólók oldhatatlan részecskéinek lassú eliminációját korábban ezek roncsolásával magyarázták (21.). *Masse* és munkatársainak kísérletei nem tulajdonítanak a makrofágoknak egyedüli jelentőséget (23.).  $^{144}\text{CeCl}_3$  aeroszóló inhalációja után 30 napig figyelt kísérleti állatok (patkány) makrofágjait vizsgálva autoradiográfiával, megállapítható volt, hogy az aeroszóló oldhatatlan funkciója, amely a makrofágokban kötődött, kisebb volt, mint az a mennyiség, amely a tüdő proteinjeihez kötődött.



A radioaktív aeroszólók eliminációjában javasolt komplexképző vegyületek alkalmazása bizonyos óvatosságra int (toxicitás), egyes esetekben az állatkísérletek is ellentmondóak voltak (*Sztanyik*). (21., 24.). Figyelemreméltónak mondható *Wehner* elektroaeroszólókkal végzett kísérlete az inhalált radioaktív anyagok dekorporációjában (25.). A kérdésre az hívta fel a figyelmet, hogy az elektroaeroszólókat sikerrel alkalmazták a szilikózis terápiában. Mint azt *Comes* és munkatársai szilícium dioxid inhalációjával végzett kísérleteikben igazolták, a negatív levegőionokkal utólag kezelt tengeri malacok tüdején kisebbek és körülhatároltabbak voltak a pulmonális laesiók, mint a pozitív levegőionokkal kezelt állatoknál, illetve a kontroll csoportnál (26.). *Wehner* negatív töltésű elektroaeroszólókat alkalmazott oldhatatlan radioaktív aeroszólók dekorporációjában.

$^{239}\text{PuO}_2$  szuszpenzióját porlasztotta el, a részecskeméret  $0,3 \mu\text{m}$  volt. A radioaktív aeroszólót a kísérleti állatok (patkányok) „nose-only” módszerrel inhalálták 15–20 percen keresztül. (25.)

A radioaktív aeroszólót inkorporált állatokat Küster-Barthel-típusú elektroaeroszóló generátorral előállított negatív töltésű aeroszóllal kezelték (10%-os nátrium klorid). Eredményként megállapítható volt, hogy azoknál

az állatoknál, amelyek negatív töltésű elektroaeroszól kezelésben részesültek jelentős pulmonális clearance volt kimutatható, a kezeletlen és a töltés nélküli aeroszól kapott csoportokhoz viszonyítva. Úgy tűnik, hogy a radioaktív aeroszólók dekorporációjára ma kevésbé bonyolult lehetőségek is rendelkezésünkre állnak. Ha ezen a területen is újabb kedvező eredményeket érnénk el, lehetőség nyílna egy kevésbé kérdéses, viszonylag egyszerű módszer alkalmazására a probléma megoldásában.

1. *Aujeszky L.*: A légkör fizikája. — Tankönyvkiadó, Budapest (1965). — 2. *Szabó E.*: Atomtechnikai tájékoztató, 10:71 (1967). — 3. *Sváb F.*: Aeroionizátorok hazai alkalmazása. „Magyar Balneoklimatológiai Egyesület Évkönyve.” Szerk.: Mihályi D., Főv. Nyomdaipari Váll., Budapest (1967). — 4. *Verescsinszkij, I. V.* — *Pikajev, A. K.*: Bevezetés a sugárhatás kémiába. — Műszaki Könyvkiadó, Budapest (1967). — 5. *Örményi I.*: Légköri ionizációs vizsgálatok... „Magyar Balneoklimatológiai Egyesület Évkönyve.” Szerk.: Mihályi D., Főv. Nyomdaipari Vállalat, Budapest (1967). — 6. *Wehner, A. P.*: Am. Journ. of Phys. Med., 3:119 (1969). — 7. *Wehner, A. P.*: Zblatt für biol. Aerosol-Forsch., 1:3 (1966). — 8. *Krueger, A. P., Sadao Kotaka, Andriese, P. C.*: Atmospheric ions and aerosols “An introduction to experimental Aerobiology”. Szerk.: Dimmick, R.L. — Akers, A.B., John Wiley & Sons Inc., New York (1969). — 9. *Csernyavszkij, E. A.*: Fiziko-himicszkaja koncepcija atmoszfernoj ionizacii i balloelektricszeszkovo efekta pri gidroaeroionizacii, „Aeroionizacija i gidroaeroionizacija v megyicine”. Szerk.: Obroszov, A.N., Medgiz, Taskent (1962). — 10. *Sokoloff, B., Eddy, W. H., Streltzor, L., Bly, R., Williams, J., Sciortino, L.*: Cancer Res., 11:4 (1952). — 11. *Krueger, A. P., Smith, R. F.*: Journ. Gen. Physiol., 42:959 (1958). — 12. *Vasiliev, L. L.*: Am. Journ. of Phys. Med., 39:124 (1960). — 13. *Benkő Gy.*: A levegőion terápia vizsgálata besugárzott szervezetben. — (Előadás). Orvosi Aeroszológiai Sectio II. Tud. Ülése (Zalaegerszeg, 1972). — 14. *Grillmaier, R., Muth, H.*: Health Phys., 20:409 (1971). — 15. *Fuksz, N. A.*: Mehanyika aerolej. — Izd. Akademii Nauk SzSzSzR, Moszkva (1955). — 16. *Dirnagl, K.*: Physik und Technik der Aerosoltherapie, „Aerosol-Therapie”. Szerk.: Nüchel, H.—K. F. Schattauer Verlag, Stuttgart (1957) — 17. Deposition and retention models for internal dosimetry the human respiratory tract. (Task Group of Lung Dynamics): Health Phys., 12:173 (1966). — 18. *Ruzer, L. Sz.*: Ragyoaktivnűje aerozoli. — Izd. Kom. Sztand., Moszkva (1968). — 19. *Chalabreyse, J.*: Toxicologie de l'uranium naturel essai d'évaluation de la contamination interne chez l'homme. — Raport CEA—R—3361—Service Central de Documentation du CEA (1968). — 20. *Timár M.*: Foglalkozási betegségek. — Medicina, Budapest (1971). — 21. *Várterész V.*: Sugárbiológia. — Medicina, Budapest (1965). — 22. *Chalabreyse, J.*: Radioprotection, 1:1 (1970). — 23. *Masse, R., Skupinski, W., Zagorcic, A., Arnoux, B., Lafuma J.*: Strahlentherapie, 143:219 (1972). — 24. *Gensicke, F.*: Dekorporation inhalierter radioaktiver Substanzen „Aerosol in der Medizin”, Wissenschaftlicher Beiträge der Friedrich-Schiller Universität, (1969). — 25. *Wehner, A. P.*: Chest, 60:468 (1971). — 26. *Krueger, A. P.*: The biological effects of gaseous ions, “Aeroiontherapy”. Szerk.: Gualtierotti, R. — Found. Carlo Erba, Milano (1969).

*Майор м/с Дьердь БЕНКЭ:*

ДАННЫЕ ПО АЭРОЗОЛОГИИ В СВЯЗИ С ВАЖНЫМИ  
ВОПРОСАМИ РАДИОБИОЛОГИИ

*Dr. Gy. Benkő, Apoth.-Major:*

BEITRÄGE ZU DEN WICHTIGSTEN RADIOBIOLOGISCHEN ASPEKTE DER  
AEROSOLOGIE