

A röntgen egységgel kapcsolatos elvi és mérési kérdésekről

Ez év őszén lesz 60 esztendeje annak, hogy W. C. Röntgen felfedezte a róla elnevezett új sugárzást. A röntgensugárzást felfedezése után az orvostudomány azonnal széleskörű alkalmazásba vette. Még javában folytak az új sugárzás mibenlétére és sajátosságaira vonatkozó kutatások, Laue és munkatársainak csak 17 évvel a röntgensugárzás felfedezése után sikerült végre interferencia jelenségek létrehozásával a sugárzás hullám természetét igazolni, mikor az orvostudomány már rendszeres diagnosztikai vizsgálatokat és gyógykezeléseket végzett az új sugárzással. Természetes tehát, hogy az összes többi alkalmazási területeket évtizedekkel megelőző orvostudomány részéről merültek fel legelőször és leg sürgetőbbben igények a röntgensugárzás minőségi és mennyiségi mérésével kapcsolatban. A tapasztalat ugyanis azt mutatta, hogy a röntgensugárzásnak bizonyos betegségek gyógyítására felhasználható biológiai hatása különféle minőségű és főleg meglehetősen jól definiált mennyiségű röntgensugárzáshoz van kötve. A szükségesnél kisebb sugáradagnál a hatás nem lép fel, míg nagyobb dózisok irreverzibilis károsodást idézhetnek elő.

A röntgensugárzás biológiai hatása azonban csak hosszabb idővel a besugárzás után jelentkezik, tehát a sugáradag kiszolgáltatását nem lehet közvetlenül az észlelt biológiai hatáshoz szabni. Szükségesnek mutatkozott tehát besugárzáskor magának a röntgensugárzás mennyiségének a mérése és így a gyógyszerekhez hasonló adagolása. Több mint három évtized telt el, míg végre sikerült a dóziszfogalom és dózismérés problémáit kielégítő módon megoldani.

Az 1940-es években aztán a modern fizika vívmányai, a nagy energiájú betatronsugárzások, neutronsugárzások, stb. részben új dozimetriai problémákat vetettek fel, amelyeket mai napig nem sikerült kielégítően megoldani, részben a terápiás dózisok mérése mellett a dózismérés számára nagy fontosságú új területeket nyitottak meg. Az atommáglyák megjelenése a radioizotópok széleskörű alkalmazása egyre szélesebb néprétegek számára elsőrendű fontosságú kérdéssé tette a különféle sugárzások egészségre káros dózisaiknak mérését, az úgynevezett sugárvédelmi dózisméréseket.

A következőkben valamennyi ionizáló sugárzás mérésének alapjául szolgáló röntgensugárzás mérési kérdéseivel és az ezzel kapcsolatos elvi problémákkal foglalkozunk.

A röntgensugárzásnak különféle fizikai és kémiai hatásai vannak, amelyeknek mérésével igyekeztek a dozirozás kérdését megoldani. Ilyen sugárhatások voltak pl. bizonyos anyagok fluoreszkálása, illetve színváltozása. Holzknecht már 1902-ben alkáli sók elszíntelenedését, Sabouraud és Noire 1904-ben báriumplatincyanid pasztillák élénk sárgás-zöld színének barnás-sárgára való megváltozását használták fel a sugáradag mérésére.

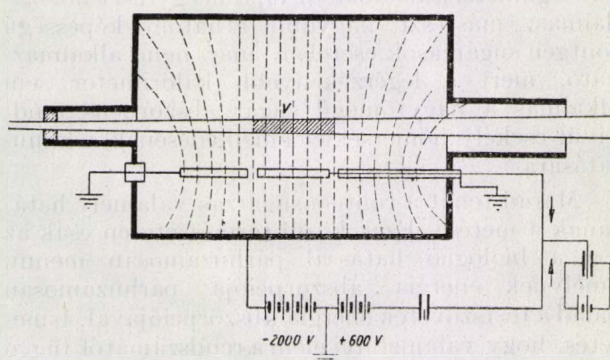
1905-ben Kienböck a röntgensugárzásnak ezüstbromid fotoemulzióra gyakorolt hatását, míg Fürstenau a szelénecella sugárzás hatására bekövetkező ellenállásváltozását használták fel dózismérésre. Mindezek az eljárások azonban részben nem voltak eléggé érzékenyek, részben erős hullámhossz-függést mutattak, ami azt jelentette, hogy pl. bizonyos fotoemulzió feketedéshez nem lehetett egyértelműen megfelelő biológiai hatást rendelni. A hullámhossztól való függetlenség igen lényeges követelmény a dózisméréssel kapcsolatban, mert egyrészt a különféle betegségek gyógyításához különféle keménységű röntgensugárzásra van szükség, másrészt még egy bizonyos fajta röntgensugárzás esetében is a lámpából kijövő heterogén sugárzás átlagos hullámhossza nem marad állandó. A különböző testmélységekben egyrészt a szűrés, másrészt a Compton szóródása következtében a sugárzás összetétele megváltozik és így egyértelmű doziméter kalibrálás csak hullámhossztól való függetlenség esetében lehetséges.

A biológiai hatással a hullámhossztól függetlenül párhuzamosan haladó fizikai hatásnak bizonyult a levegőben létrehozott ionizáció. 1908-ban P. Villard ajánlotta először, hogy ezt válasszuk a röntgensugárzás mennyiségi mérésének alapjául (1). 1914-ben a magyar Szilárd készítette az első ionizációs dózismérőt (2). Houthousen (3), majd Friedrich és Krönig (4) részletes vizsgálat tárgyává tették az ionizáció alapján történő sugárzásmérést és megállapították, hogy ahhoz, hogy egy bizonyos térfogatban létrehozott ionizációs áram intenzitása és a létrehozó röntgensugárzás intenzitása között egyértelmű összefüggés legyen megállapítható, két feltételnek kell teljesülnie. Az egyik feltétel az úgynevezett fali hatások kiküszöbölése, azaz a röntgensugárzásnak nem szabad az ionizációs kamra falát érni. A falból kiváltott elektronok ugyanis a fal anyagi minőségétől és a geometriai viszonyoktól függően lényegesen befolyásolják az ionizációs áramot. A másik feltétel: a szekunder elektronok ionizációjának teljes kihasználása, ami azt jelenti, hogy az ionizációs kamrának olyannak kell lennie, hogy magában az ionizációs térfogatban keletkező foto- és Compton-elektronok kifuthassák energiájuknak megfelelő teljes úthosszukat, azaz ne ütközzenek az ionizációs kamra falába mielőtt le nem adják az ütközések során teljes energiájukat. A termelt ionokat az ionizációs kamrának természetesen mind bele kell mérnie az ionizációs áramba.

E vizsgálatok figyelembevételével mondotta ki a stockholmi nemzetközi radiológiai kongresszus 1928-ban a röntgensugárzás dóziségységének definícióját: »A röntgensugárzás nemzetközi egysége az a röntgensugár mennyiség, amely a szekunder elektronok ionizációjának teljes kihasználása és a kamrafal hatásainak kiküszöbölése mellett az ionizációs kamrában 1cm^3 0 C fokú 760

Hg mm nyomású levegőben olyan vezetőképességet hoz létre, hogy telítési áram esetén a mért elektromos töltés a töltés elektrosztatikai egysége. Jele : r.»

E definíciónak megfelelő egzakt röntgen egység meghatározó berendezés részlet problémáit az európai kontinensen Behnken és Jaeger dolgozták ki. Egy 30—40 literes hordóalakú ionizációs kamra közepén van kialakítva a mintegy 10 cm^3 -es fal nélküli tulajdonképpen mérő térfogat. Ennek keresztmetszetét egy megfelelően kiképzett ólom diafragma definiálja, amely a fali hatás kiküszöbölése céljából a szekunder elektronok úthosszának megfelelő távolságban a kamra előtt nyer elhelyezést. A mérőtér fogat hosszát a mérő elektródra merőlegesen haladó elektromos erővonalak szabják meg, amennyiben csupán a mérő elektróddal azonos hosszúságú hengeres térfogatban keletkező ionokat hajtják a mérő elektródra, a többi a két földelt segéd elektródra. Ilyen módon a v térfogatban keletkező foto- és Compton-elektronok a környező levegőben szabadon kifejtetik teljes ionizáló hatásukat és ezek az ionok mind rá is jutnak a mérő elektródra, ha néhány ezer voltos telítő feszültségről gondoskodunk. Valójában lesznek ugyan olyan elektronok, amelyek a segédelektrodok elektromos terébe mennek át és így a termelt ionok nem a mérő elektródra



1. ábra. A röntgen egység mérésére szolgáló hordókamra

kerülnek, azonban kimutatható, hogy ezeket éppen kompenzálják a két segédelektrod teréből kiinduló és a mérő elektród elektromos terébe átjövő elektronok által termelt ionok. Amint látható, lényeges a mérés szempontjából, hogy az elektromos erővonalak valóban merőlegesen haladjanak a kamra hossz tengelyére. Ennek biztosítása céljából egyrészt a mérő elektród kivezetését is megfelelő borostyán szigeteléssel az egyik segéd elektród belsején át kell vezetni, másrészt a mérő elektródra jutó töltés meghatározására olyan mérési eljárást kell alkalmaznunk, amelynél az elektród feszültsége állandóan föld potenciálon van. Kis feszültségemelés is már eltorzítja az elektromos teret és így meghamisítja a mérést.

Egyik legegyszerűbb mérési eljárás az, hogy a mérő elektródhoz ellenkező polaritással egy

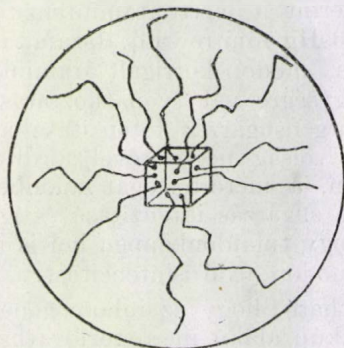
olyan urán áram-normált kapcsolunk, amelynek intenzitását kapacitásváltozás nélkül folyamatosan változtatni tudjuk. A beiktatott elektrométer jelzi, hogy mikor következett be a tökéletes kompenzáció. Ekkor a hordókamra árama a nagy pontossággal behitelesíthető urán áram-normál áramával egyenlőnek vehető. Az abszolút röntgen meghatározáshoz szükségünk van még a definíció szerint a mért áramintenzitásnak 0 C fokra és 760 Hg mm-re való átszámítására, valamint az ilyen módon korrigált áramintenzitásnak a térfogategységre való vonatkoztatására. Mint-hogy a röntgensugárzás intenzitása a fókuszról számított távolság négyzetével fordított arányban csökken, a mérő térfogat különböző részein, különböző a sugárzás intenzitása és így felmerül a kérdés, hogy tulajdonképpen hol is határozzuk meg ilyen módon a dózisintenzitást.

Kimutatható, hogy az inhomogénen átsugárzott csónkakúp alakú mérő térfogatban ugyanannyi energia abszorbeálódik, mint a diafragma helyén fellépő sugárintenzitással homogénen átsugárzott olyan hengerben, melynek alapja a diafragma keresztmetszetével, magassága a mérő elektród hosszával azonos. Ezzel a térfogattal osztva az elektrosztatikai egységekben kifejezett áramintenzitást, megkapjuk a diafragma helyén egy másodperc alatt szolgáltatott dózist röntgen egységekben (5).

A fentiekben vázolt abszolút röntgen meghatározó berendezést készítettünk 1938-ban az Eötvös Lóránd Rádium és Röntgen Intézetben (most Országos Onkológiai Intézet). Az ország valamennyi dozimétere szekunder standardoknak nevezett Küstner-kamrák segítségével ehhez a berendezéshez van hitelesítve. Mivel ez a hitelesítő állomás csak 180 kV-os sugárzásokig használható, ami ma már messze nem elegendő, a Magyar Tudományos Akadémia Központi Fizikai Kutató Intézetében nekikezdünk egy jóval nagyobb feszültségű hitelesítőállomás megépítéséhez.

Nyilvánvaló, hogy a röntgen egység definíciójának megfelelő abszolút röntgen meghatározó berendezés segítségével nem lehetséges dózist mérni sem a test felszínén, még kevésbé a test belsejében, amire pedig egyre inkább igényt támasztott a röntgen- és rádium-therápia. A kérdést Fricke és Glasser (6) oldották meg a levegő-ekvivalens anyagból készített úgynevezett gyűszű ionizációs kamrák segítségével. A kérdés lényege a következő gondolati kísérlettel világítható meg. Képzeljünk el egy kis fal nélküli ionizációs kamrát. A benne keletkező ionizációs áramhoz a röntgen egység definíciója szerint hozzájárulnak mindama levegőrészek, amelyek egy olyan gömbhéjon belül fekszenek, amelynek vastagsága azonos a szóba-jöhető legnagyobb energiájú fotoelektron hatótávolságával. Nyomjuk össze ezt a gömbhéjat egy vékony levegőréteggé. Az ionizációs kamra áramában nyilván nem fog semmi változás sem bekövetkezni. Ha végül egy hasonló ionizációs kamrát olyan szilárd anyagból készítünk, amely

hullámhossztól függetlenül úgy viselkedik, mint ez az összepréselt levegőréteg, akkor ez az ionizációs kamra is teljesen azonos ionizációs áramot fog szolgáltatni, azaz olyat, mintha a mérőtér fogatot szabad levegő venné körül. Az ilyen anyagot nevezzük levegőekvivalens anyagnak. Glasser majd Miehl nickel (7) vizsgálatai szerint



2. ábra A mérő térfogatból kiinduló elektronpályák

ahhoz, hogy valamely anyag levegőekvivalens legyen, szükséges, hogy effektív rendszáma a levegő effektív rendszámával, 7,69-el legyen egyenlő. Az effektív rendszám definíciója

$$N_{eff} = \sqrt[3]{\frac{a_1 N_1^4 + a_2 N_2^4 + \dots}{a_1 N_1 + a_2 N_2 + \dots}},$$

ahol $a_1, a_2, \dots$ az $N_1, N_2, \dots$ rendszámú atomok száma. A levegőekvivalens anyagból készült ionizációs kamra falának az előzőek szerint olyan vastagnak kell lennie, mint amennyi a legnagyobb energiájú elektron hatótávolsága ebben az anyagban. Kis méretű ionizációs kamrák esetében az ionizációs áramot csaknem kizárólag a kamrafalból kilépő elektronok hozzák létre. Ha a fal levegőekvivalens anyagból készült, a kamrával pl. a test belsejében is az r egység definíciójának megfelelő körülmények között mérhetünk röntgendózist. Hogy az ionizációs áramot az ionizációs kamra elektrosztatikusan feltöltött belső elektródjának bizonyos fokú kisütésére használjuk-e fel, avagy jól szigetelő kábellel egy úgynevezett direkt leolvasású elektronikus vagy elektrosztatikus mérőkészülékbe vezetjük, lényegében véve közömbös, a mérőberendezést abszolút röntgen meghatározó berendezés segítségével hitelesíteni kell.

Miután a főbb vonásaiban vázolt lépésekben empirikus úton megszületett a biológiai hatásokkal párhuzamosan haladó, tehát azokkal egyértelmű összefüggésbe hozható, jól mérhető fizikai hatáson alapuló dózisegység és mérési eljárás, kezdték el boncolgatni a dózismérés elvi alapjait. Christen svájci fizikus 1931-ben a dózis fogalmát a következőképpen definiálta: »A fizikai dózis egyenlő egy bizonyos test elemében elnyelt röntgenenergia, osztva a test elem térfogatával.« A Christen-féle definíció lényegében véve ma is érvényes

azzal a különbséggel, hogy egyrészt az »elnyelés« alatt nem csupán a fotoelektromos abszorpciót kell értenünk, hanem a Compton elektronok által átvett energiát is, másrészt, hogy az 1937-évi chicágói nemzetközi radiológiai kongresszus új definíciójának megfelelően az energiaelnyelést nem a térfogat egységre, hanem a tömeg egységre vonatkoztatjuk. A fizikai dózis alatt tehát azt az energiamennyiséget értjük, amelyet a sugárzás a kérdéses helyen a besugárzott anyag egy grammjával ionizáló részecskék útján közöl.

Maga a röntgensugárzás teljesen hatástalan az emberi szervezetre, biológiai hatása csak annyiban van, amennyiben a sugárzó energia elektronok kinetikai energiájává alakul át. Ebből következik, hogy a dózismérést logikusan úgy kellene végeznünk, hogy közvetlenül megmérjük a testszövetekben mozgósított foto- és Compton-elektronok összenergiáját. Sajnos, erre jelenlegi technikai adottságaink mellett egyáltalában nincs lehetőségünk. Másik eljárás az lenne, hogy megmérjük a sugárzás intenzitását, azaz a sugárzás irányára merőlegesen egy cm^2 -en másodpercenként áthaladó energiamennyiséget, aztán a kérdéses testszövetre érvényes abszorpciós együttható, illetve sugárgyengülési együttható alapján kiszámítjuk a tömegegységben elnyelt energiát. Ilyen irányban történtek is kezdeményezések (Császár-féle ergométer), azonban az eljárás egyrészt hosszadalmas, másrészt nagyobb áthatoló képességű röntgen sugárzások esetében már nem alkalmazható, mert a legérzékenyebb kaloriméter sem alkalmas a nagytömegű sugár abszorbenst rendkívül csekély hőmérséklet emelkedésének a kimutatására.

Marad tehát a röntgensugárzás valamely hatásának a mérése. Ezek közül természetesen csak az fog a biológiai hatással párhuzamosan menni, amelynek energia abszorpciója párhuzamosan halad a testszövetek energia abszorpciójával. Ismeretes, hogy valamennyi elem a rendszámától függő meghatározott hullámhosszknál szelektív abszorpciót mutat, azaz abszorbeáló képessége hirtelen a sokszorosára megnő. Ezek az abszorpciós élek a periodusos rendszer elején levő elemeknél, ahova a testszöveteket alkotó hidrogén, szén, oxigén, nitrogén is tartoznak, már olyan hosszú hullámhosszúságú tartományba esnek, hogy számításon kívül hagyhatók. A többi elemnél azonban az abszorpciós élek már a közép- és rövid hullámhosszak tartományába kerülnek. Természetes tehát, hogy a felhasznált effektus függetlenül attól, hogy az fotoemulzió feketedés, fluoreszkálás, elszíneződés, vagy ellenállásváltozás-e, ezeken a helyeken a testszövetek abszorpciójához képest erős kiugrást fog mutatni.

Ezzel szemben a rövidebb hullámhosszak felé egyre jobban érvényesül a Compton szóródás kiegyenlítő hatása. A kétféle hatás összegeződéséből a magasabb rendszámú elemeket tartalmazó doziméterek hullámhosszfüggése az abszorpciós él helyzetétől függően valahol maximumot

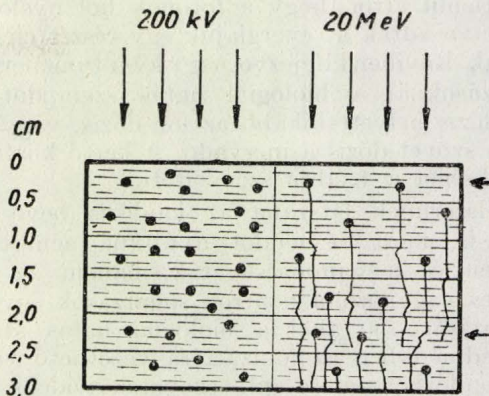
mutat (8). A levegőben létrejövő ionizáció azért megy párhuzamosan a biológiai hatásokkal, mert a levegőt alkotó elemek rendszáma eltekintve a csekély mennyiségben jelenlevő argontól és még kisebb mennyiségben jelenlevő kryptontól, hasonló a testszöveteket alkotó atomok rendszámához és így az 1 gr-ra vonatkoztatott abszorpció széles hullámhossz tartományban a levegőre és a testszövetekre közel azonos.

Egyrészt tehát a testszövetekkel azonos effektív rendszáma, másrészt könnyű hozzáférhetősége miatt a már említett 1937. évi chicágói, majd az 1950. évi londoni nemzetközi radiológiai kongresszusok továbbra is fenntartották a dózisegység definíciójában a levegőt, csupán az 1 cm³ 0 °C fokú 760 Hg mm nyomású levegő helyébe annak súlyát tették. Az új definíció szerint egy r az a röntgen vagy gamma sugárzás mennyisége, mely által 1,293 mg levegőben kiváltott korpuszkuláris sugárzás levegőben egy-egy elektrosztatikai egységnek megfelelő töltésű pozitív, illetve negatív iont termel. Egy elektrosztatikai egységnek 2,083.10⁹ ionpár felel meg, tehát a röntgen egységnek megfelelő sugármennyiséget egyszerűen úgy is definiálhatjuk, mint amely 1,293 mg levegőben 2,083.10⁹, illetve 1 gr levegőben 1,61.10¹² ionpárt termel. Mivel Kuhlenskampff, Rump és Eisl mérései szerint 1 ionpár létesítéséhez levegőben 32,5 eV-ra van szükség, 1 röntgennek megfelel 1,61.10¹² · 32,5 eV, azaz 83,8 erg/gr levegő.

A legutolsó 15 év folyamán a terápiás alkalmazásra kerülő sugárzások kvantumenergiája igen lényegesen megnőtt. Nyilvánvalóvá vált azonban, hogy a röntgen egységekben történő dozirozás a 3 MeV fölötti sugárzásokra már semmiképpen sem terjeszthető ki. Egyrészt azért, mert a definíciónak megfelelő mérések a foto- és Compton-elektronok rendkívül megnövekedő hatótávolsága következtében egyre problematikusabbá válik. A hordókamrás mérések még nagyobb légnyomások alkalmazása esetén is komoly nehézségekbe ütköznek. Levegőekvivalens falú kiskamrás méréseknél viszont, mivel a sugárzás áthatolóképessége kevésbé növekszik, mint a kiváltott elektronok hatótávolsága, illetve az ennek megfelelő kamrafal vastagság, a sugárzás összetételét a kamrafalban fellépő abszorpció megváltoztatja és így a mérés illuzórikussá válik.

A másik baj onnan adódik, hogy nagyobb kvantumenergiájú sugárzásoknál a testszövetekben kiváltott korpuszkuláris sugárzás hatótávolsága is lényegesen megnő. Ennek következtében más helyen abszorbeálódik a röntgen-sugárzás és más helyen fejti ki az abszorbeált energia ionizáció útján biológiai hatását. Néhány száz kilovoltos sugárzásoknál az elektronok hatótávolsága a testszövetekben tizedmilliméter nagyságrendű és így gyakorlatilag a sugárabszorpció és biológiai hatás azonos helyen következnek be. Nagyobb kvantumenergiáknál azonban már ez az egyensúly nem áll fenn. Ha tehát tudnánk is a

definíciónak megfelelő egzakt röntgen egység mérést bizonyos testszövetben végrehajtani, ez mértéke lenne ugyan a kérdéses helyen abszorbeált röntgen energiának, azonban egyre kevésbé a biológiai hatásnak. A 3. ábra szkematikusan szemlélteti a viszonyokat 200 kV-os és 20 MeV-os sugárzások esetében. Az előzőnél az elektronoknak nagyságrendileg 0,1 mm hatótávolságú pályáit



3. ábra. A testszövetben létrehozott ionizáció helye 200 kV-nál és 20 MeV-nál

magukat az abszorpciós helyeket feltüntető pontok jelzik, míg a 20 MeV-os sugárzásnál a Compton-elektronok már több cm-re behatolnak a testszövetekbe.

Amint látható az ionizáció sűrűsége a nagyobb mélységek felé többszörösére megnövekszik, nyilvánvalóan együtt megnő a biológiai hatás is. Ezzel szemben ha pl. az első és ötödik rétegben a definíciónak megfelelő röntgen egység mérést tudnánk végrehajtani, azaz mindkét helyen pl. egy elvileg elképzelhető, megfelelő nagy nyomással összepréselt levegőfalú kis ionizációs kamrával biztosítani tudnánk az első, illetve ötödik réteghez tartozó teljes ionizáció mérését, a két helyen közel azonos értéket kapnánk.

A nehézséget lényegében véve az okozza, hogy bár 1 gr levegőben, illetve testszövetben közel azonos energia nyelődik el, a test felszín előtti levegő sűrűsége 800-szor kisebb lévén a testszövetek sűrűségénél, 800-szor kevesebb röntgensugarat abszorbeál. Amíg tehát egy adott térfogat elemet, pl. egy sejtet a test belsejében minden irányból érnek az ionizáló elektronok, addig a határfelületen levők a fél térrészből mintegy 800-szor kisebb sűrűségű elektron besugárzásban részesülnek. A határfelületen és ennek a sugárzás kvantumenergiája által meghatározott környezetében tehát elektron deficit lép fel.

A csontokkal határos testszövetekben viszont lényeges elektrontöbblet fog mutatkozni, mint-hogy a csontokban levő kalcium és foszfor rendszáma több mint kétszerese a testszövetek effektív rendszámának és az abszorpció a rendszám negyedik hatványával növekszik. Röntgenegységekben mérve ez a különbség a definícióból következőleg nem mutatkozhat meg.

Megállapíthatjuk tehát, hogy nagyobb kvantumenergiájú sugárzások dozированияára a röntgen egység sem gyakorlati, sem elvi okokból nem alkalmas. Számos kísérlet azt mutatja, hogy a biológiai hatás nem a kérdéses térfogatban abszorbeált röntgensugár energiától függ, amit a röntgen egységben való mérés szolgáltat, hanem attól, hogy az abszorbeált energiából mennyi alakul át a kérdéses térfogat elemben ionizációs energiává függetlenül attól, hogy a fotonok hol nyelődtek el, illetve adták át energiájuk egy részét elektronoknak. Röviden kifejezve, nagy kvantumenergiájú sugárzásoknál a biológiai hatás szempontjából az r-dózis helyett inkább az ion-dózis, vagy más néven szövet-dózis a mérvadó. A kettő közti elvi különbséget a 4. ábra szemlélteti.

Célszerűnek látszana az iondózis bevezetése azért is, mert ez módot nyújtana nemcsak a röntgen és a gamma sugarak, hanem az alfa, béta és nagyrészt a neutron sugárzások egységes dozированияára is, ahol a biológiai hatás szintén végeredményben az ionizációra vezethető vissza. Az iondózis mérése pl. szövetekvivalens falú ionizációs kamrával végezhető, azonban vigyázni kell arra, hogy magában a kamrában elnyelt röntgensugár energia kicsi legyen a környezetből eredő sugárzáshoz képest.

Az iondózis bevezetésével szemben áll az a vélemény, hogy ha a különböző ionizáló sugárzások egységes mérése szempontjából az eddig használt röntgen egységekben való mérestől már el kell térnünk, akkor nem célszerű a sugárzások egy bizonyos hatását, amilyen pl. az ionizáció is alapul venni, hanem inkább a kérdéses helyen az egységnyi tömegű anyag által felvett energiát kellene a fizikai dózis mértékéül választani. Elvileg valóban ez lenne valamennyi ionizáló sugárzás dozimetriájának legtermészetesebb fizikai alapja.

Sajnos, ezt a lépést ma még nem tudjuk megtenni, mert a közvetlen energiamérés megvalósításának egyelőre leküzdhetetlen akadályai vannak. Lehetséges azonban, amint Gray (9–12) kimutatta az anyag által felvett energia közvetett mérése az anyagban kialakított üregben létrejött ionizációnak a mérésével. Az egységnyi tömegű anyag által felvett energia: E_m és az üregben létrehozott, egységnyi tömegű gázra vonatkoztatott ionizáció: J_m között a következő összefüggés áll fenn:

$$E_m = s \cdot W \cdot J_m,$$

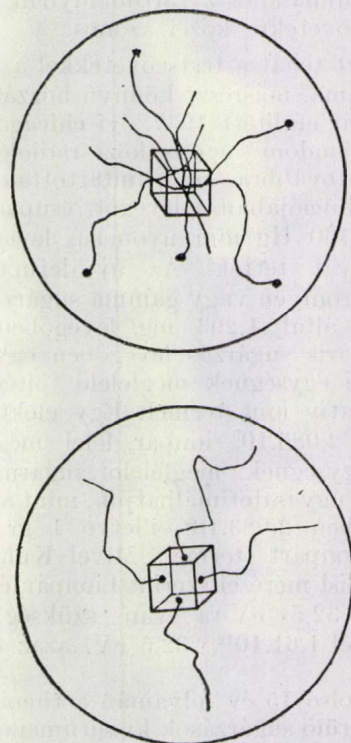
ahol W a gáz egy ionpárjának létesítéséhez szükséges energia (levegőre nézve 32,5 eV) és s az anyagnak a gázra vonatkoztatott relatív tömegfékezési együtthatója gyors elektronokra nézve:

$$s = \frac{n_k}{n_e} f(Z),$$

ahol n_k , illetve n_e az anyag, illetve levegő tömeg egységében levő elektronok száma és $f(Z)$ egy az

anyag effektív rendszámával lassan változó függvény.

Az ilyen közvetett úton történő energiamérés bevezetését is késlelteti egyelőre az a tény, hogy sem s , sem W értéke a különböző anyagokra és különböző sugárzásokra kellő pontossággal nem ismeretes, illetve még egyáltalában nem is



4. ábra. Az r-dózis és iondózis közti különbség

vizsgált. Valószínűnek látszik, hogy igen nagy foton energiáknál pl. W értéke levegőre már nem 32,5 eV. De ha az anyag által felvett energia és ionizáció nem haladnak párhuzamosan, akkor ismét felmerül a kérdés, hogy a biológiai hatás az energiával, vagy az ionizációval halad-e párhuzamosan, avagy egyikkel sem. Annyi mindenestre már biztos, hogy a termelt ionok száma mellett azok lineáris sűrűsége is befolyással van a biológiai hatás kialakulására.

Összefoglalva tehát megállapíthatjuk, hogy miután több évtizedes vajúdas után a röntgen és a gamma sugarak dozированияi problémái végre a 30-as évek folyamán a röntgen egység megalkotásával nyugvópontra jutottak, a legutolsó évtized újabb nagy fizikai eredményei olyan újabb dozированияi problémákat is vetettek fel, amelyekre a röntgen egység már nem használható fel. A fizikai és biológiai kutatások újabb kooperálására van szükség egy olyan, valamennyi ionizáló sugárzás dozированияára alkalmas új egység megalkotására, amely mint speciális esetet tartalmazza továbbra is a röntgen egységet.

Bozóky László
Országos Onkológiai Intézet

Irodalom

1. P. Villard, Arch. elec. med. 16. 692 1908.
2. Szilárd, Strahlenth. 5 742 1915.
3. Holthusen, Fortsch. a. d. Geb. d. Röntgenstr. 26. 211 1919—20.
4. Krönig, Friedrich, Physikalische u. biologische Grundlagen der Strahlentherapie. Berlin 1918.
5. Bozóky, Mat. Fiz. Lapok XLVII. 91 1940.

6. Fricke, Glasser, Fortsch. a. d. Geb. d. Rtgs. 33 239 1925.
7. Miehl nickel, Annalen d. Physik 5. 20 737 1934.
8. Holthusen, Strahlenth. 82 487 1950.
9. Gray, Proc. Roy. Soc. 122 647 1929.
10. Gray, Proc. Roy. Soc. 156 578 1936.
11. Gray, Brit. J. of Radiology 10 677 1949.
12. Gray, Brit. J. of Radiology 22 677 1949.

A MAGYAR FIZIKA ÚTTÖRŐI

Segner András

1704—1777.



250 éve született a Segner-kerék feltalálója. Kevesen tudják róla, hogy magyar ember volt. Pedig Segner András János Pozsonyban született, a debreceni református kollégiumban tanult és később Debrecen város főorvosa lett. Életrajzát utódja és nagy tisztelője, Weszprémi István (1) írta meg.

A Segner család a XV. században jött Magyarországra Stájerországból, Pozsonyszentgyörgyre. Tagjai élénken részt vettek a közéletben. Nemsokára magyar nemességet kaptak. Segner András atyja, Mihály, tekintélyes kereskedő, jómódú patricius, városgazda, vagy kvesztor volt Pozsonyban. Anyja Fischer Krisztina. Születésének időpontja vitás. Egyes források szerint 1704. október 4-én, mások szerint október 9-én született.

Iskoláit Pozsonyban, Győrött és Debrecenben végezte. A debreceni református kollégiumban a főiskolai hallgatók névsora az ú. n. »Series Studiorum«, 1588 óta megszakítás nélkül fennmaradt. Ebben a tógátus diákok »subskribálták« az iskolai törvényeket. Segner András neve itt nem szerepel. Valószínűleg azért, mert azok a diákok, akik nem papi pályára készültek, nem laktak feltétlen a kollégiumban, és nem is voltak aláírásra kötelezve. A Series egy másolója (2) Weszprémi István adatai nyomán már említést tesz Segnerről, de a többi forrásmunkák is egybehangzóan azt bizonyítják, hogy Segner a debreceni református kollégiumban tanult.

1724-ben iratkozott be és kb. egy évet töltött Debrecenben. Aztán Jénába ment és ott az orvosi fakultás hallgatója lett, de közben matematikát és fizikát is tanult. Ez irányú érdeklődését kétségtelenül még a debreceni főiskoláról hozta magával. Sajnos nem lehet teljes bizonyossággal eldönteni, hogy ki lehetett Segner professzora, aki vele a természettudományokat ennyire megszerettette. Nagy Sándor (3), a Kollégium levéltárnoka összeállította a régi kollégiumi professzorok névsorát. Ebből azt látjuk, hogy 1724-ben a következők voltak a tanárok: az első tanszéken Piskárkosi Szilágyi Márton tanított, a másodikon Tabajdi Sáska János, a harmadikon Szilágyi Tönkő István. A negyedik tanszék, amelyen a filozófia keretében éppen a természettudományokat tanították, ebben az időben nincs betöltve, illetve nem maradt fenn a rajta esetleg működő tanár neve. Mindössze a kollégiumi Nagykönyvtárban őrzött négy korabeli fizikai tárgyú kézirat egyike utal arra, hogy Szilágyi Márton adhatott ez idő tájt fizikát elő. Valószínűleg ő volt Segner professzora, s neki lehetett érdeme abban, hogy Segner érdeklődése a természettudományok felé fordult.

A jénai egyetemen igen hamar feltűnt tehetségével. Már 1725-ben írt egy értekezést,¹ a

¹ Címe: Dissertatio epistolica ad G. E. Hambergerum, qua regulam Hariotti de modo ex acuationum signis numerum radicum, eas componentium, cognoscendi demonstrare conatur. Jenae MDCCXXV (Georg Erhard Hamberger orvos és tanár volt Jénában).