

Az MH Egészségügyi Szolgálata*,
az Országos „Frédéric Joliot-Curie” Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi
Kutató Intézet és
a BME Nukleáris Technikai Intézet**

TESTSZÖVETEKBE NEUTRONOK HATÁSÁRA KELETKEZŐ RADIOAKTÍV IZOTÓPOK MÉRÉSÉN ALAPULÓ BALESETI NEUTRON-DOZIMETRIAI ELJÁRÁS

II. A reaktor-biológiai csatornájában, fantomban besugárzott vérminták aktivitása

*Dr. Gachályi András mk. alezredes

Dr. Kanyár Béla a biológiai tudomány kandidátusa

Kerekes Andor

Dr. Kovács László

Niki István

Dr. Koblingerné Bokori Edit

Dr. Sztanyik B. László az orvostudomány kandidátusa

Dr. Varga P. László az orvostudomány kandidátusa

**Dr. Virág Elemér

Érkezett: 1990. 09. 10.

Kulcsszavak: szövetekivalens, fantom, neutron besugárzás, neutron aktiváció, n-dózis becslés.

Henger alakú, szövetekivalens fantomban elhelyezett humán vérminták besugárzása után vizsgáltuk a neutronenergia-spektrumot módosító tényezőket. A fantom besugárzását a BME Tanreaktor ún. biológiai alagútjában, 2 kW névleges reaktorteljesítmény mellett végeztük.

Eredményeink szerint a 30 cm átmérőjű fantomban a termikus neutronok dózisa 20–30%-ra, míg a gyors neutronoké kb. 20%-ra csökkent. A neutron dózisa vonatkozó kimutathatósági határ félvezető-detektor és ^{24}Na esetében 0,03 Gy-nak, míg GM-cső és ^{32}P esetében 1,0 Gy-nak adódott.

Bevezetés

Előző munkánkban (1) ismertettük a baleseti neutron dozimetriai módszer célját, alkalmazási lehetőségét, továbbá a reaktor aktív zónájában besugárzott emberi vérmintákra kapott eredményeinket. Hangsúlyoztuk, hogy a neutron-besugárzás (n-besugár-

zás) hatására keletkező izotópok (pl. ^{24}Na , ^{38}Cl stb.) radioaktivitása erősen függ a neutron energiájától. A neutronenergia-spektrumot módosítják a besugárzási tér viszonyai, esetünkben a szóródás és az abszorpció következtében az emberi test is (2, 3, 4). Éppen ezért célszerűnek láttuk a kísérleteket, más neutron spektrum, ill. a spektrumot módosító, eltérő körülmények mellett is elvégezni.

Jelen munkánkban azokról a kísérleti eredményeinkről számolunk be, amelyeket a BME Tanreaktor ún. biológiai besugárzó alagútjában, egy szövetequivalens fantomban elhelyezett humán vérminták besugárzásával kaptunk.

Anyagok és módszerek

1. A besugárzó fantom

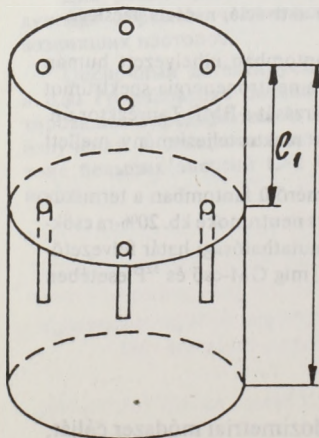
A henger alakú, és a neutron-szóródás, valamint az abszorpció szempontjából szövetequivalens fantom két részből áll, amelynek mindkét részében 5-5 db, 20 ml térfogatú anyagminta helyezhető el küvetében.

A műgyanta alapú fantom összetevő komponensei ipari tisztaságú anyagok és súlyszázalékban a következő elemekből áll:

C: 68%; H: 10%; N: 3,5%; Cl: 1,0%; S: 0,5% és O: 17%.

A fantom alapvető méretei, valamint a minta elhelyezése készült furatok helyzete és számozása az 1. ábrán látható.

OLDALNÉZET



$$c_1 = 13 \text{ cm}$$

$$c_2 = 35 \text{ cm}$$

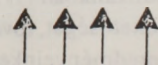
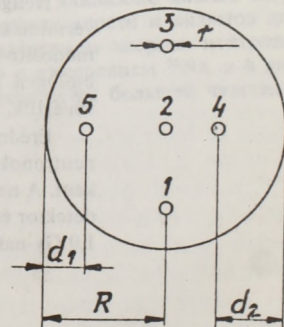
$$R = 15 \text{ cm}$$

$$r = 1,4 \text{ cm}$$

$$d_1 = 5,0 \text{ cm}$$

$$d_2 = 10,5 \text{ cm}$$

FELÜLNÉZET



n -NYALÁB

1. ábra: A fantom leírása

2. A vérminták előkészítése

A frissen levett emberi vénás vérhez milliméterenként 25E litium heparint adtunk. Az alvadás gátolt vért ezután óvatosan összekevertük, majd mintánként 20-20 ml mennyiségben polietilén küvetákba légmentesen lezártuk. Az így előkészített mintákat a fantom sorszámozott furataiba helyeztük el (1. ábra).

A besugárzás után minden egyes vérmintából előkészítettünk 10 ml-t gamma-spektrometriai méréshez, valamint 5 ml-t, P-anionoszlopos-leválasztáshoz és a ^{32}P GM-csővel történő méréshez.

3. A vérminták besugárzása

A fantom furataiban, küvetákban elhelyezett vérminták n-besugárzása a BME Tanreaktor besugárzó alagútjában, a tartályfaltól 1 m távolságban történt, 2 kW névleges reaktorteljesítmény mellett.

A leadott dózis nagysága az 1-10. számú minták esetében 0,5 Gy (besugárzási idő 20,5 perc), míg a 11-20. számú mintáknál 1,5 Gy (besugárzási idő 61,5 perc) volt. Mivel a besugárzó alagút már erősen módosítja a hasadási neutronok spektrumát, így a spektrum erősen különbözött a reaktor aktív zónájában kapott eloszlástól, elsősorban a mintegy háromszor nagyobb termikus-gyors neutron arány tekintetében (5).

4. Méréstechnikai eljárások

A reakciótermékek aktivitásának mérése minden esetben az n-besugárzás után 2-4 órával kezdődött el és egy-egy mintát rendszerint több alkalommal is visszamértünk. A különböző időpontokban mért aktivitás értékeket visszaszámoltuk az n-besugárzás befejező időpontjára.

Az egyes izotópok esetében a Bq egységben mérhető aktivitás kimutathatósági határait (a 90%-os konfidencia intervallum figyelembe vételével) a

$$K_1 = 1,65 \cdot \Delta I$$

összefüggés alapján számoltuk. A háttérlevonás után kapható beütésszám hibája (ΔI) a következőképpen számolható:

$$\Delta I = \sqrt{\frac{N}{t_N^2} + \frac{H}{t_H^2}}$$

ahol t_N , t_H a minta ill. a háttér mérés ideje, N ill. H a t_N ill. t_H idő alatt mért beütésszám.

A ^{24}Na -aktivitást minden esetben az $E_\gamma = 1,369$ MeV-es fotocúcs alapján határoztuk meg. A ^{42}K esetén az $E_\gamma = 1,523$ MeV energiájú vonalat értékeltük ki.

A vérminták inaktív nátrium és kálium tartalmát atomabszorpciós (AAS, típusa: Varian-175) mérési eljárással határoztuk meg.

Eredmények

A reakciótermékek közül a félvezető detektorral mért ^{24}Na -aktivitás értékeket – a besugárzási dózisos és a minta geometria függvényében – az I. táblázatban foglaltuk össze. A különböző időpontokban (a és b) mért és Bq-ben megadott aktivitási értékeket összehasonlítva megállapítható, hogy a két sorozatban kapott értékek között gyakorlatilag nincs különbség. A félvezető detektorral kapott mérési eredményeinkkel jó egyezést mutattak az üreges NaI(Tl) kristállyal mért ^{24}Na aktivitási értékek.

A továbbiakban félvezető detektorral mértük a ^{42}K és a ^{38}Cl aktivitásokat is. Ezen radioizotópok esetében a mérési hiba 30–90% között volt, így a kapott mérési eredmények csak tájékoztató jellegűek. A besugárzás után néhány órával mért ^{42}K aktivitási értékeket a II. táblázatban adjuk meg.

A besugárzott vérmintából ioncserélő oszlopon leválasztottuk a nátrium és kálium ionokat, hogy ezáltal a tiszta β -sugárzó ^{32}P aktivitása zavarmentesen legyen mérhető. A ^{32}P aktivitását alumínium tálkára beszárított 2 ml vérmintából TESLA típusú gázátáramlásos GM-csővel határoztuk meg.

I. Táblázat:

10 ml VÉRMINTÁBAN, FÉLVEZETŐ DETEKTORRAL MÉRT
 ^{24}Na AKTIVITÁSOK* Bq-BEN

Furat szám és a mérési időpontok**	Dózis (Gy)				
	0,5		1,5		
	Közép-sík	Felső-sík	Közép-sík	Felső-sík	
1.	a.	125,8	105,0	324,5	287,5
	b.	117,8	111,1	316,4	298,0
2.	a.	28,1	39,7	74,4	126,2
	b.	27,4	39,0	79,6	117,6
3.	a.	19,7	32,7	62,1	99,5
	b.	13,5	27,2	59,5	85,3
4.	a.	27,0	44,4	89,5	135,6
	b.	29,7	39,7	80,1	141,2
5.	a.	43,3	39,2	114,1	145,6
	*b.	34,1	51,3	115,3	142,4

*Visszaszámolva a besugárzás befejező időpontjára. A mérések hibája 3–15% között volt.

**a./ a besugárzás után néhány órával

b./ a besugárzás után 24 órával

II. Táblázat:

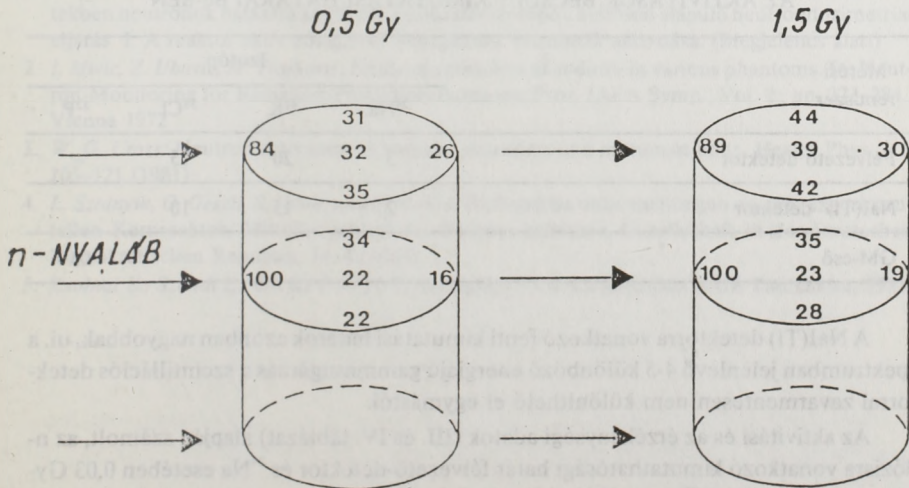
10 ml VÉRMENTÁBAN, FÉLVEZETŐ DETEKTORRAL MÉRT
 ^{42}K AKTIVITÁSOK* Bq-BEN

n-dózis	Furat szám				
	1	2	3	4	5
0,5 Gy, közép-sík	25,0	3,0	7,0	7,0	6,0
0,5 Gy, felső-sík	31,0	10,5	9,0	9,0	17,0
1,5 Gy, közép-sík	48,0	19,0	9,0	11,0	17,0
1,5 Gy, felső-sík	65,0	15,0	13,0	35,0	19,0

*Visszaszámolva a besugárzás befejező időpontjára

A ^{32}P -re kapott eredményeink szerint az alkalmazott kísérleti viszonyok mellett (n-spektrum, fantom-alak stb.) csupán a fantomnak az n-nyaláb irányába eső felületén, az 1,5 Gy dózis mellett mért értékek (1 ill. 1,5 Bq/minta) fogadhatók el, míg a 0,5 dózis hatása nem volt kimutatható.

Az egyes furatokban elhelyezett vérminták aktivitás értékei jellemzik a fantomon belüli dózis inhomogenitásokat. Számításainkban a középső-sík 1. pozíciójában kapott értéket vettük 100%-nak (lásd 2. ábra).



2. ábra: Inhomogenitás a fantomon belül ^{24}Na esetében.

Eredményeink szerint a 30 cm átmérőjű fantomban a termikus neutronok dózisa 20-30%-ra, míg a gyors neutronoké kb. 20%-ra csökken.

A továbbiakban meghatároztuk az egységnyi n-dózis hatására létrejövő átlagos aktivitás értékeket, amelyeket Bq/Gy egységben a III. Táblázatban adtunk meg.

III. Táblázat:

AZ IZOTÓPOKRA VONATKOZÓ „ÁTLAGOS ÉRZÉKENYSÉGEK”
(1,0 Gy DÓZISRA és 10 ml VÉRRE MEGADVA)

Mérési geometria	Izotóp Bq/Gy			
	²⁴ Na	⁴² K	³⁸ Cl	³² P
Közép-sík	90	25	400	0,30
Felső-sík	100	17	725	0,30

Az n-dózis kimutatási határát a legkisebb kimutatható aktivitások (beütésszámok) értékeiből, extrapolálással határoztuk meg. A mérés technikai eljárások között (4. pont) megadott összefüggések alapján ($t_N = 10$ perc, $N = 20$ minimális beütésszám igény mellett) a kapott aktivitás értékeket a IV. Táblázatban foglaltuk össze.

IV. Táblázat:

AZ AKTIVITÁSOK BECSÜLT KIMUTATÁSI HATÁRAI Bq-BEN

Mérési rendszer	Izotóp			
	²⁴ Na	⁴² K	³⁸ Cl	³² P
Félvezető detektor	3	20	15	-
NaI(Tl) detektor	2	15	10	-
GM-cső	-	-	-	0,07

A NaI(Tl) detektorra vonatkozó fenti kimutatási határok azonban nagyobbak, ui. a spektrumban jelenlevő 4-5 különböző energiájú gamma sugárzás a szcintillációs detektorral zavarmentesen nem különíthető el egymástól.

Az aktivitási és az érzékenységi adatok (III. és IV. táblázat) alapján számolt, az n-dózisra vonatkozó kimutathatósági határ félvezető-detektor és ²⁴Na esetében 0,03 Gy-nak, míg GM-cső és ³²P esetében 1,0 Gy-nak adódott.

Következtetések

1. A BME Tanreaktor ún. biológiai alagútjában, valamint az aktív zónában besugárzott minták esetében kapott eredményeink közötti eltérés a különböző n-spektrum következménye.

2. Eredményeink megfelelnek a $^{23}\text{Na}(n,)^{24}\text{Na}$, $^{41}\text{K}(n,)^{42}\text{K}$, $^{37}\text{Cl}(n,)^{38}\text{Cl}$, és a $^{31}\text{P}(n,)^{32}\text{P}$ reakciók hatáskeresztmetszetéből számolható radioaktivitásnak.

3. Az üreges, NaI(Tl) detektoros mérések n-dózisra vonatkozó kimutatási határa hasonló a félvezető detektorra kapott értékre, azonban a kiértékelés pontatlansága miatt (több radioizotóp jelenléte) célszerűbb a félvezető detektoros mérési rendszer alkalmazása.

Köszönetnyilvánítás

Bernula Pálné, B-né Tihanyi Mária és Tóth Józsefné asszisztenseknek köszönjük a lelkiismeretes munkát a készítmények előkészítésében és a mérések kivitelezésében.

Szerző címe: 1201 Bp., Vörösmarty 8. fsz. 8.

IRODALOM

1. Kanyár B., Gachályi A., Kerekes A., Kovács L., Sztanyik B. L., Varga L., és Virágh E.: A testszövetekben neutronok hatására keletkező radioaktív izotópok mérésén alapuló neutrondozimetriai eljárás. I. A reaktor aktív zónájában besugárzott vérminták aktivitása. (Megjelenés alatt)
2. I. Mivic, Z. Ubovic, M. Trajkovic: Neutron activation of sodium in various phantoms. In: Neutron Monitoring for Radiation Protection Purposes. Proc. IAEA Symp., Vol. 2., pp. 273-284., Vienna 1972.
3. W. G. Cross: Neutron activation of sodium phantoms and in human body. Health Phys., 41, 105-121 (1981)
4. L. Sztanyik, O. Geszti, S. Fehér, und S. Makra: Biologische untersuchungen an dem experimentellen Kernreaktor. Mitteilungsblatt der Biophysikalischen Gesellschaft in der Deutschen Demokratischen Republik, 11, 4 (1964)
5. Zsolnai E., Szondi E.: OKKFT A/11-7. alprogram 7.1.4. sz. jelentése, BME Tanreaktor, 1983.

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

REFERENCES

1. ...
 2. ...
 3. ...

4. ...
 5. ...

6. ...
 7. ...

8. ...
 9. ...