

DIE MOONTLIKE GEVAAR VAN RADIOAKTIEWE STRONTIUM-90

AS UITVALPRODUK

J. P. ROUX, B.Sc., M.B., Ch.B., D.P.H., *Assistent-Mediese Gesondheidsbeampte, Gesondheidsraad vir Buitestedelike Gebiede, Pretoria*

As gevolg van die gebruik van kernenergie op 'n steeds groter skaal, en die teenwoordigheid van uitvalprodukte wat volg op hernude kerntoetsprogramme deur Rusland en die V.S.A., word die aandag van mediese gesondheids-beamptes weer eens op die gevare van blootstelling aan ioniserende bestraling gevestig.

Hoewel algemeen erken word dat 'n kortstondige blootstelling aan ioniserende bestraling van hoë intensiteit, akute bestralingsiekte kan veroorsaak, moet daar in ag geneem word dat langdurige aanraking met lae-intensiteit-bestraling letsels kan veroorsaak wat, hoewel hulle nie dadelik waarneembaar is nie, tog ook 'n nadelige uitwerking het.

Dit volg dus dat die opmeting van radioaktiwiteit in die omgewing, d.w.s. in die lug, water, en voedsel, belangrik is by die vasstelling van die moontlike skadelike uitwerking van klein hoeveelhede radioaktiwiteit. Wanneer lug, water, of voedsel waarneembare hoeveelhede radioaktiwiteit bevat, kan dit aangeneem word dat inaseming en inname daarvan deur die mond 'n inwendige radioaktiewe blootstelling kan veroorsaak wat 'n toevoeging is tot die uitwendige blootstelling aan natuurlike bronne en die mediese gebruike van ioniserende bestraling.

Lugbesoedeling deur radioaktiwiteit word veroorsaak deur 3 faktore:

1. Natuurlike aktiwiteit as gevolg van kosmiese strale, bestraling vanuit die grond, boumateriaal, en die menslike liggaam self.

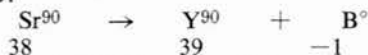
2. Uitvalprodukte afkomstig van kernreaktors deur hulle uitlaatgasse, en met kernreaktor-ongelukke.

3. Kernontploffings in die atmosfeer. As die wolk tot 'n hoogte van 40 - 50,000 voet styg, d.w.s. in die troposfeer, word die neerslag daarvan deur reën beïnvloed, en 'n helfte daarvan keer na ongeveer 3 weke tot die aarde terug. Met die kragtiger megatonbom dring die radioaktiewe deeltjies tot in die stratosfeer deur, en die neerslag kom veel stadiger tot die aarde terug — ongeveer 12% per jaar.¹ Tipiese uitvalprodukte is jodium-131, strontium-89, cerium-144, met 'n kort halfleeftyd van 8 dae, 54 dae en 280 dae respektiewelik; en strontium-90 en caesium-137, met halfleeftye van 28 jaar en 33 jaar respektiewelik.

Van hierdie uitvalprodukte is strontium-90 die belangrikste, vanweë sy lang halfleeftyd van 28 jaar en sy opname deur die skelet in die menslike liggaam. Caesium-137 is chemies gelyk aan kalium en toon die neiging om meer eweredig deur die hele liggaam te versprei.

KENMERKE VAN RADIOAKTIEWE STRONTIUM-90

Die element strontium (Sr) het die *atoomnommer* 38 aangesien dit 38 protone bevat. Hierdie nommer is konstant vir al die isotope van strontium. Tydens 'n kernontplofing word uraan o.a. gesplit in strontium en xenon. Strontium-90 dui aan dat die *atoomgewig* 90 is, wat die totale protone en neutrone aandui, d.w.s. 38 protone en 52 neutrone. As gevolg van 'n oormaat neutrone is Sr⁹⁰ 'n beta-uitstraler en verval na sy dogterprodukt yttrium-90 plus 'n negatiewe beta-deeltjie:



Hierdie beta-deeltjie het 'n maksimum energie van .54 MeV, en dit dring deur weefsel tot 'n diepte van 'n paar millimeters.

Die dogterprodukt yttrium verval ook deur die vrystelling van beta-deeltjies, maar het 'n halfleeftyd van net 64 uur.

In sy *onoplosbare* vorm is strontium-90 as uitvalprodukt belangrik, eerstens vanweë sy beta-kontak- en beta-bad-gevaar, waar laasgenoemde uitvalprodukte op die grond aandui. Dit kan ernstige brandwonde veroorsaak. Tweedens kan Sr⁹⁰ in sy onoplosbare vorm 'n gevaar inhou deur moontlike inaseming. In dié geval is die long die 'kritieke' orgaan, d.w.s. die orgaan waarvolgens maksimum toelaatbare dosisse aangedui word.

In sy *oplosbare* vorm is strontium-90 'n gevaar aangesien dit die mens bereik deur die kosketting, bv. plant - diër - voedsel - mens, en deur besmette water.

Dit twee belangrikste roetes waarlangs die radioaktiewe strontium die liggaam binnedring, bly dus die asemhaling-sisteem en die spysverteringskanaal. Hierdie materiaal word gelokaliseer in die kritieke orgaan waar dit radioaktief bly totdat dit deur die liggaamsprosesse uitgeskei word (biologiese verval), of totdat dit skadeloos word deur radioaktiewe verval.

Radioaktiewe isotope volg dieselfde metaboliese prosesse in die liggaam as die onaktiewe isotope wat in die natuur voorkom. Aangesien strontium metabolies ooreenstem met kalsium, lokaliseer dit in die kalsifiserende weefsel van die skelet. Strontium soek dus been op en veroorsaak bestraling van been en die nabygeleë radiosensitiewe beenmurg, wat mag lei tot beensarkoom en leukemie.

Inwendige bestraling word gewoonlik gekenmerk deur sy chroniese uitwerking, in teenstelling met die meer akute uitwerking van uitwendige bestraling van hoë intensiteit.

Die vasstelling van die bestralingsdosis van inwendige radioaktiewe materiaal is uiters moeilik, aangesien 'n mens nie eenvormige distribusie kan aanvaar nie — selfs nie van die weefsel van selektiewe lokalisering nie.

Die absorpsie van strontium vind as volg plaas²: Ongeveer 20% van strontium-90 ingeneem, word deur die spysverteringskanaal geabsorbeer. Die grootste gedeelte van hierdie strontium word deur die urine uitgeskei, en die 5% Sr⁹⁰ wat agterbly in die liggaam word gefikseer in die skelet.

Weens die gevare wat Sr⁹⁰ inhou, is die vasstelling van die volgende uiters belangrik:

(a) Die maksimum toelaatbare liggaamslas van strontium-90, en

(b) Die maksimum toelaatbare konsentrasie van Sr⁹⁰ in lug, water, en voedselsoorte soos bv. melk, gebaseer op (a).

(a) *Die Maksimum Toelaatbare Liggaamslas van Sr⁹⁰*

Dit word gebaseer op 'n vergelyking met Ra²²⁶, aangesien dit ook 'n beta-uitstraler is wat in been gelokaliseer en baie langer aan die wetenskap bekend is. In 1941 reeds is die maksimum toelaatbare liggaamslas van radium²²⁶ op 0.1 mikrocurie (μc .) vasgestel. Om die maksimum toelaatbare las vir Sr⁹⁰ vas te stel, moet daar dus 'n vergelyking getref word tussen die energie van strontium-90, wat in been lokaliseer met die energie van 0.1 μc . Ra²²⁶.

In die berekening van die effektiewe geabsorbeerde energie van radioaktiewe strontium is die volgende faktore belangrik³:

1. Die energie per disintegrasië in MeV (54 MeV + 2.2 MeV) waar 2.2 MeV die energie van die dogterprodukt aandui.

2. Die verhouding van disintegrasië van die dogterprodukt (yttrium) tot disintegrasië van die ouer (Sr.) In been sal dit 1:1 wees.

3. Die halfleeftyd van verval, nl. 28 jaar.

4. Die relatiewe biologiese effektiwiteit (RBE) waar die uitwerking van 200 - 250 KV röntgenstrale as eenheid gebruik word.

5. Die relatiewe beskadigingsfaktor. Dit word as een eenheid geneem waar die ouer element van die ketting 'n isotoop van radium is. Vir Sr⁹⁰ is dit 5. Hierdie faktor is belangrik aangesien gevind is dat sekere radioaktiewe stowwe been meer beskadig as Ra²²⁶ vir dieselfde RBE dosis.

6. Die graad van selektiewe lokalisering in die liggaam, wat sodoende individuele weefsel (in hierdie geval die skelet) aan hoë dosisse blootstel.

7. Die tempo van opname en uitskeiding deur die liggaam. Volgens aanbevelings van die Internasionale Kommissie vir Röntgenologiese Beskerming (I.C.R.P.) word die maksimum toelaatbare dosis vir Sr⁹⁰ in die skelet op 2 μc . gestel.

(b) *Die Maksimum Toelaatbare Konsentrasie van Strontium-90 in Lug en Water*

Die volgende faktore is in hierdie berekening van belang:

1. Die maksimum toelaatbare liggaamslas van die radioaktiewe materiaal in die kritieke orgaan.

2. Die gedeelte van die radioaktiewe materiaal (Sr⁹⁰)

wat die kritieke orgaan bereik in verhouding tot die hele liggaam.

3. Die verval-konstante van strontium-90 wat gelyk is aan 0.693/T waar T die effektiewe halfleeftyd is. In die berekening van die effektiewe halfleeftyd, word beide die radioaktiewe halfleeftyd en die biologiese halfleeftyd in aanmerking geneem.

4. Die gemiddelde daaglikse inname van water geneem as 2.200 ml., en van lug (2×10^7 ml.).

5. Die tydperk van blootstelling, geneem as 50 jaar vir beroepsblootstelling.

6. Wanneer 'n isotoop disintegreer na 'n dogterisotoop, moet die aandeel wat die dogter (in die geval Y⁹⁰ wat in die liggaam gevorm word) tot die RBE dosis bydra, ook in aanmerking geneem word. Die effektiewe energie van die ouer moet aangevul word deur die effektiewe energie van die dogter in verhouding tot die aantal disintegrasiës van die dogter tot dié van die ouer.

Hiervolgens het die Internasionale Kommissie in 1959 die maksimum toelaatbare konsentrasie vir strontium-90 in water op 10^{-6} μc . per ml. en in lug op 10^{-10} μc . per ml. vasgestel vir beroepsblootstelling, met 'n 168-uur week. Dit is deur die Internasionale Kommissie aanvaar dat die gemiddelde toelaatbare konsentrasie vir die bevolking as geheel op een-dertigste (1/30) van die beroepswaardes gestel word.

In Februarie 1960 is die maksimum toelaatbare konsentrasie van Sr⁹⁰ in melk op 33 mikromikrocurie per liter ($\mu\mu\text{c}$. per l.) gestel deur die Sekretaris van Gesondheid van die V.S.A.⁴

BIOCHEMIESE KENMERKE VAN STRONTIUM-90

Dit is belangrik om die faktore te bepaal wat die hoeveelheid strontium-90 kontroleer in die lug en in water, en die opname daarvan deur plante, diere, en die mens. Dit vorm die basis van enige voorspellings van toekomstige hoeveelhede wat verag kan word in die skelet van die mens, as in aanmerking geneem word dat 'n toenemende tempo van kerntoetsing gaan plaasvind. Dit het die aandag gevestig op die Sr⁹⁰/Ca verhouding, waar 1 strontium eenheid = 1 mikromikrocurie strontium-90 per gram kalsium.

Met die vervoer van strontium-90 langs die kosketting, grond - plant - dier - melk, word hierdie verhouding met 1/10 verminder.⁵ Diskriminasie deur die liggaam teen strontium verminder die Sr⁹⁰/Ca verhouding met 'n verdere faktor van 4 in been, in vergelyking met dié in melk.⁶

Met 'n ondersoek na die voorkoms van strontium-90 in die dieet van die bevolking van die Verenigde Koninkryk, is bevind dat melk en melkprodukte 75% van die kalsium van dier- en plantoorsprong, en dus ook van strontium, voorsien in die geval van volwassenes, en 'n groter persentasie in suigeling. Die dosis wat die skelet uiteindelik sal ontvang, word bepaal deur die distribusie en konsentrasie van strontium in die liggaam. Aangesien Ca die Sr verdun, word die bestralingsdosis gevolglik ook bepaal deur die Sr/Ca verhouding in die skelet, en dit word op sy beurt bepaal deur die Sr⁹⁰/Ca verhouding in die dieet.

Die hoeveelheid Sr⁹⁰ in die dieet is afhanklik van die tempo van uitval. Indien die hoeveelheid in die dieet bepaal sou word deur die akkumulatiewe totaal in die grond, sou dit stadig toeneem met die tyd. Indien Sr⁹⁰ in die dieet

hoofsaaklik beïnvloed word deur die Sr^{90} as uitvalproduk wat direk op die groeiende plante neerkom, sal die graad van besmetting verander met die tempo van neerslag. Daar is gevind⁷ dat die strontiuminhoud van die diët grotendeels van die hoeveelheid neerslag deur bv. reënval afhang; m.a.w. die uitvaltempo, en nie die akkumulatiewe totaal in die grond nie, is die vernaamste faktor. Ten minste 66% van die totale strontium-90 in graan in die Verenigde Koninkryk het deur middel van direkte absorpsie voorgekom en nie deur die grond nie. Die grootste gedeelte van die absorpsie deur plante vind plaas deur die basis van die stengels, en strontium-90 in reën kom in melk te voorskyn na ongeveer 2 maande.

Die gemiddelde Sr^{90} in melk by 5 verskillende stasies in die V.S.A., vanaf Mei 1957 tot April 1958,⁸ was 4.9, 4.2, 9.4, 5.5, en 5.4 mikromikrocurie, met 'n totale gemiddelde van $\pm 6 \mu\mu\text{c.}$ per l. (Maksimum toelaatbare konsentrasie: 33 mikromikrocurie/l.) Daar was geen duidelike verband tussen Sr^{90} konsentrasie in melk en die aantal wapens wat elke maand getoets is nie, hoewel daar 'n verband was tussen radioaktiewe stowwe van korter halfleeftyd, soos bv. I^{131} en kerntoetse. Dit word verklaar deur die feit dat langleeftydmateriaal meng met produkte in die stratosferiese reservoïer van stowwe wat reeds vrygestel is deur vorige proewe, en dan 'n meer homogene uitval veroorsaak.

Beta-beenopsoekende radioaktiwiteit in melkmonsters in die distrik van New York⁴ het begin toeneem in April en Mei 1959 met die destydse kerntoetse. Van die 20-30 mikromikrocurie/l. konsentrasies het dit toegeneem tot $167 \mu\mu\text{c.}/\text{l.}$ aan die einde van Junie, met 'n daling daarna. Sr^{90} het tussen 15 en 40% hiervan bygedra. Hierdie syfers toon dus 'n duidelike toename in die radioaktiewe materiaal in die melkstadium van die koei-melk-mens kosketting as gevolg van die 1958 kerntoetse.

Op die oomblik is daar nog geen gegewens beskikbaar oor die teenwoordigheid van radioaktiewe strontium in melk in Suid-Afrika nie. Van die geakkumuleerde neerslag van 6-10 millicurie (mc.) per vierkante myl in Suid-Afrika (vgl. 30 mc. per vierkante myl in die noordelike halfgrond), word bereken dat melk nie meer as 2 mikromikrocurie per liter kan bevat nie.⁹ Opnames deur die W.N.N.R. het getoon dat die gemiddelde totale beta-aktiwiteit in die water van ons riviere 10^{-5} mikrocurie per ml. is,

waarvan Sr^{90} net 'n deel uitmaak. (Vgl. die I.C.R.P. maksimum toelaatbare konsentrasie van $10^{-6} \mu\text{c.}$ per ml.)

GEVOLGTREKKING

Opnames in die V.S.A. het getoon dat dit noodsaaklik is om voortdurende aandag aan die teenwoordigheid van Sr^{90} as uitvalproduk in die lug en veral in melk te wy, aangesien die waardes wat verkry is met vorige kernproefnemings gevaarlik naby die maksimum toelaatbare konsentrasies gekom het.

Dit is egter duidelik dat die huidige konsentrasies van Sr^{90} in Suid-Afrika ver benede die maksimum toelaatbare konsentrasies, soos aanbeveel deur die Internasionale Kommissie, is.

In die toekoms behoort aandag geskenk te word aan die verskillende faktore wat 'n invloed uitoefen op die berekening van veiligheidstandaarde ten opsigte van radioaktiewe stowwe, en 'n eenvormige eenheid soos bv. die mikromikrocurie per liter behoort aanvaar te word. 'n Sisteem vir die opneem van monsters met vaste tussenposes, vir die vasstelling van radioaktiwiteit, moet uitgewerk word.

OPSOMMING

'n Oorsig word gegee van die fisiese en biochemiese kenmerke van radioaktiewe strontium-90 as uitvalproduk, en die gevare daaraan verbonde.

Die faktore wat die vasstelling van toelaatbare veiligheidstandaarde beïnvloed, word beskryf en in die lig daarvan word gegewens van opnames wat gedoen is tydens vorige kernproefnemings, getoets.

Dit word hieruit duidelik dat volgehoue toesig oor die bestralingsgevaar wat in Sr^{90} as uitvalproduk skuil, uiters noodsaaklik is, veral in die noordelike halfgrond. In Suid-Afrika is die toestand egter gunstiger.

VERWYSINGS

- Burgess, S. G. (1959): Roy. Soc. Hlth J., 79, 704.
- Robertson, J. S. en Cohn, S. H. (1959): *Atomic Medicine*, 3e uitgawe, p. 233, Baltimore: The Williams & Wilkins Company.
- Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (1959): *Report of Committee II*. Londen: Pergamon Press.
- Irving Sax, N., Haddon, W. en Wendel, O. W. (1960): Amer. J. Publ. Hlth, 50, 459.
- McMurray, W. R. (1957): S. Afr. T. Geneesk., 31, 1246.
- Anderson, W. (1959): Roy. Soc. Hlth J., 79, 721.
- Ellis, F. B. (1960): Publ. Hlth (Lond.), 74, 217.
- Campbell, J. E. et al. (1959): Amer. J. Publ. Hlth, 49, 225.
- McMurray, W. R. (1961): Persoonlike mededeling.