

ODSTRAŇOVÁNÍ ODPADOVÝCH PRODUKTŮ PŘI PRÁCI S I^{131}

Podplukovník MUDr. Jaroslav HALÍK, VÜHEM, Praha-Střešovice

V současné době je radiojod I^{131} jedním z nejrozšířenějších izotopů, které se používají jak v diagnostice a terapii různých onemocnění, tak i v experimentální praxi.

Ochrana před zamořením osob, pracoviště a jeho okolí při práci s I^{131} se stává důležitou otázkou hygieny záření.

1. Charakteristika používání I^{131}

Je známo asi 19 izotopů, nejpoužívanějším je však izotop I^{131} . Má následující schéma rozpadu (1):

Vyzařuje 4 skupiny beta-částic s energií 0,812, 0,608, 0,335, 0,250 MeV a 6 gama-kvant s různou energií od 0,080 do 0,722 MeV. Poločas rozpadu $T = 8,05$ dne. Váha 1 mC čistého izotopu I^{131} činí $8,1 \times 10^{-9}$ g.

Kritickým orgánem v těle je štítná žláza, v jejímž parenchymu se jod I^{131} velmi rychle zachycuje, jakmile se dostane do organismu.

Maximální přípustné koncentrace jodu I^{131} jsou následující:

1. Podle doporučených hodnot Mezinárodní komise pro ochranu před zářením (The International Commission of Radiological Protection), které byly přijaty také do ČSN 34 1730 (5), (11):

na celý organismus 0,6 μ C,
ve vodě $6 \cdot 10^{-5}$ μ C/cm³,
ve vzduchu $6 \cdot 10^{-9}$ μ C/cm³.

2. Podle sovětských norem (Sanit. pravidla № 233 — 57) (14):

ve vodě $5 \cdot 10^{-7}$ μ C/cm³,
ve vzduchu $5 \cdot 10^{-9}$ μ C/cm³.

V diagnostice se I^{131} používá ke zjištění funkce štítné žlázy, k zjištění novotvarů štítné žlázy a jejich metastas, k zjištění nádorů mozku. Většinou se diagnostické dávky I^{131} pohybují od 2 do 20 μ C na jedno podání (3) (1).

V terapii slouží I^{131} k léčení thyreotoxikózy a k léčení nádorů štítné žlázy. Terapeutické dávky činí 1—2 až 30 mC, ojediněle až 200—500 mC na jednu dávku, 10—600 mC na celý léčebný cyklus (1) (10).

Elementární jod I^{131} i některé jeho sloučeniny mají řadu zvláštností, důležitých pro bezpečnost práce s nimi. Především je to prchavost. Elementární I^{131} lehce sublimuje. Tato vlastnost ztěžuje práci s ním, zvláště v suchém, krystalickém stavu. Neméně důležitou vlastností I^{131} a jeho sloučenin je schopnost vnikat kůží a sliznicemi do organismu s následným hromaděním ve štítné žláze.

I^{131} při parenterálním zavedení se plně dostává do krevního oběhu. Jak ukázaly výzkumné práce, rozptýlení jodu po organismu při parenterálním přívodu probíhá tak, že 50—70 % dávky se hromadí ve štítné žláze, 0,5 % v játrech, v ostatních orgánech I^{131} nalezneme v množství nepřevyšujícím setiny procenta.

Při perorálním podání ukázala klinická zkušenost, že 60—70 % dávky I^{131} odchází s močí během prvních dvou dnů, během prvních tří dnů až 92 %. Vyloučení stolicí i při perorálním podání NaI^{131} je nepatrné.

2. Prameny zamoření prostředí jodem I^{131}

Prameny zamoření zevního prostředí jodem I^{131} jsou:

1. zařízení, používající I^{131} k terapeutickým i diagnostickým účelům,
2. zařízení, provádějící experimentální výzkumné práce s I^{131} .

V klinické praxi se podává I^{131} jednak z diagnostických důvodů, jednak jako terapie. V ČSR není rozřešeno ambulantní podávání jodu I^{131} . Podle instrukce ministerstva zdravotnictví SSSR o používání jodu I^{131} (10) je povoleno jej podávat ambulantně jen do množství 3,5 mC jednorázově. Všechny ostatní nemocné, kteří dostávají větší dávky, v SSSR hospitalisují. Největší zájem hygieniků je obrácen k těm nemocným, kteří dostávají dávky asi 30 mC v jednom podání.

V léčebných zařízeních pramenem zamoření jsou:

- a) práce spojené s přípravou preparátů podávaných nemocným,
- b) sami nemocní, kterým byl podán preparát I^{131} a kteří ho postupně vylučují, hlavně močí.

Proto je nutné speciální vybavení laboratoře, pro přípravu a podávání preparátů, i klinických místností a jejich hygienických zařízení.

Laboratoř pro přípravu léčebných preparátů I^{131} a pro jejich podávání má mít následující místnosti:

- místnost pro skladování zásob radioaktivního materiálu,
- místnost pro dávkování a přípravu pracovních roztoků I^{131} ,
- místnost pro podávání preparátů nemocným.

Sklad radioisotopů musí zabezpečovat bezpečné uložení veškeré zásoby I^{131} na oddělení.

Bylo by výhodné organisovat dodávku nových zásob I^{131} tak, aby dodací lhůty odpovídaly jednak poločas rozpadu I^{131} ($T = 8,05$ dne), jednak době, po kterou je nemocný hospitalisován (např. 10 dní). Takový způsob je nejehospodárnější jak z hlediska spotřeby preparátu I^{131} , tak i z hlediska spotřeby materiálu na ochranu před zářením ze skladu. Nehromadí se takto neúčelné nadměrné množství izotopu.

Pro názornost našeho výkladu uvedeme příklad výpočtu ochranných zařízení pro radioterapeutické oddělení, čítající 30 stálých lůžek a ambulantní část. Takové oddělení může spotřebovat za 10 dní asi 700 mC I^{131} , počítáme-li výše uvedené dávkování.

Pracující personál se bude zdržovat při správné organizaci práce v laboratoři asi 2 hod. denně. Dávka za tuto dobu v pracovní vzdálenosti 0,5 m od 700 mC I^{131} by činila bez ochrany 1,3 rem. Výpočet ochranného stínění provedeme podle energie gama-kvant 0,364 MeV, které vyzařuje I^{131} v 80,9 % rozpadů. Pomocí tabulek (15) s ohledem na nutnou 5násobnou rezervu nalezneme, že ochranná vrstva olova musí činit 2,1 cm. Takovou minimální tloušťku musí mít stěny kontejnerů nebo tresoru. Doporučuje se vnitřní stěny ochranné olověné vrstvy vyložit aluminiovým plechem, nebo jiným materiálem, stínícím beta záření.

Při otvírání a zatavení ampulí s obsahem 50 μ C I^{131} nutno používat stínění minimálně 1 cm Pb, stejně jako při distancionovaném přelívání do speciální dosující aparatury.

Dosování preparátu se doporučuje automatizovat, aby možnost zamoření laboratoře byla snížena na minimum. Takový aparát pro automatické dosování má velmi prostou konstrukci. Obsahuje stíněnou nádobu na koncentrovanou aktivitu I^{131} , z níž objemovou regulací je možno vypouštět potřebné množství přímo do nádoby, z níž nemocný pije léčebnou dávku. Současně se do nádoby z kontejneru pitné vody vypouští potřebné množství vody, určené k zředění aktivity do zvolené koncentrace. Počítáme-li, že v aparatuře může být maximálně 300 mC, pro práci po dobu 2 hod. ve vzdálenosti 0,5 m je nutná ochrana olovem 1,6 cm tloušťky.

Všechny práce — vyjímání ampule z kontejneru, otevření a přenesení do automatu — musí být prováděny v digestoři s odtahem a nad miskami vyloženými filtračním papírem, pro případ rozlití preparátu.

Automatizace dávkování má ještě další výhodu. Spotřebuje se při něm nejméně laboratorního nádobí, a tím se zmenší obsah I^{131} v tekutém odpadu z umývárny natolik, že je možné povolit vypouštění vody přímo do kanalisace.

Při ukládání nemocných v jednotlivých pokojích je nutno pamatovat na možnost vzájemného doplňkového ozáření radiojodem, nahromaděným v jejich štítné žláze.

O velikosti tohoto ozáření nám dají představu následující čísla:

3 mC I^{131} ve vzdálenosti 25 cm od štítné žlázy dají 4,3 mr/hod.,

5 mC I^{131} ve vzdálenosti 25 cm od štítné žlázy dají 14,2 mr/hod.,

15 mC I^{131} ve vzdálenosti 50 cm od štítné žlázy dají 72 mr/hod.

Tato okolnost nás nutí omezovat počet nemocných v pokoji tak, aby na 1 nemocného bylo asi 10 m² plochy. Současně nutno provádět systematickou dosimetrickou kontrolu ozáření obsluhujícího zdravotnického personálu a o dávkách vést přesné záznamy.

Jak bylo výše uvedeno, jod¹³¹ se vylučuje z organismu hlavně močí. Stolicí, slinami a ostatními výměty obsahují nepatrné množství vstřebaného jodu. Počítáme-li s podáním dávky 30 mC I^{131} , pak asi 15 mC odchází s močí již první den, 8 mC druhý den, 3 mC třetí den. Nemocní thyreotoxi-

kosou vylučují méně, myxedematici více. Ambulantním nemocným se v SSSR podává do 3,5 mC I^{131} , z čehož 1,5 mC se vylučuje močí první den, 1 mC druhý den, 0,5 mC třetí den. Nemocní tohoto druhu mohou být zdrojem zamoření okolí, protože po přijetí dávky odcházejí z dozoru a lékaři se spoléhají hlavně na jim dané poučení. Ambulantní nemocní sbírají během prvních tří dnů veškerou moč a odevzdávají ji na kliniku.

3. Odstraňování odpadových hmot s I^{131}

Nejnebezpečnějším zdrojem zamoření zevního prostředí při používání I^{131} je terapie nádorů štítné žlázy, kde se používají poměrně vysoké dávky radiojodu. Všimneme si proto hlavně odpadu z takového léčebného oddělení, hlavně moči nemocných, kterým byl podán radiojod. V předcházejících odstavcích byla rozebrána otázka odpadu z laboratorní části oddělení a naznačeny způsoby jeho odstranění. To však je jen malá část celé otázky.

Hlavním problémem je odstranění masy isotopu vylučovaného z organismu převážně močí, a to, jak již řečeno, 60 až 90 % celé dosy během prvních tří dnů.

V podstatě máme dvě možnosti řešení:

1. Odebírat moč a stolicí u nemocných odděleně, zvláště první tři dni. Moč, ve které je obsaženo podstatné množství isotopu, dále zpracovávat.

2. Sbírat moč a stolicí současně, odvádět je jako radioaktivní odpad do vymírací jímky a po snížení aktivity provést zředění vodou do přípustné hodnoty a vypustit do městské kanalisace.

Ad 1. Moč se od nemocných odebírá první tři dny z kontrolních důvodů. Při tom se nám může podařit hlavní podíl aktivity (60–90 %) soustředit v odebrané moči. Nicméně nutno pamatovat, že jediná porce moči (200 cm³) během prvního dne může obsahovat až 2 mC I^{131} . K zředění na přípustnou normu 1×10^{-7} C l (14) potřebujeme 20 000 l vody, abychom směli pustit takové množství přímo do kanalisace.

Moči budeme od 30 nemocných denně odebírat až 40 l. Takové množství dále zpracovávat nebude snadné. Destilace moči nezmenší v ní obsah jodu, protože prakticky přejde veškerý radiojod do destilátu.

Použití iontoměných filtrů je ztíženo nutností odstranit z moči před filtrací veškeré organické látky. To je velmi obtížná technická záležitost.

Ad 2. Lépe tedy přejít k druhému způsobu, ovšem ve zvláštní modifikaci. Každé spuštění normálního klosetu představuje 20 l vody. Na jednoho člověka za den to bude asi 100 l vody. Takové množství ještě nestačí k zředění počáteční aktivity. Bylo by nutno odpad sbírat a stavět na vymření aktivity ve velkých jímkách. To však také není možné, protože 30 pacientů za 20 dní produkuje 60 m³ odpadu a jímky by byly příliš rozsáhlé.

Proto je nutno hledat jiný způsob odstraňování odpadu. Je zde možnost kombinace vymírání aktivity odpadu s následujícím zředěním a

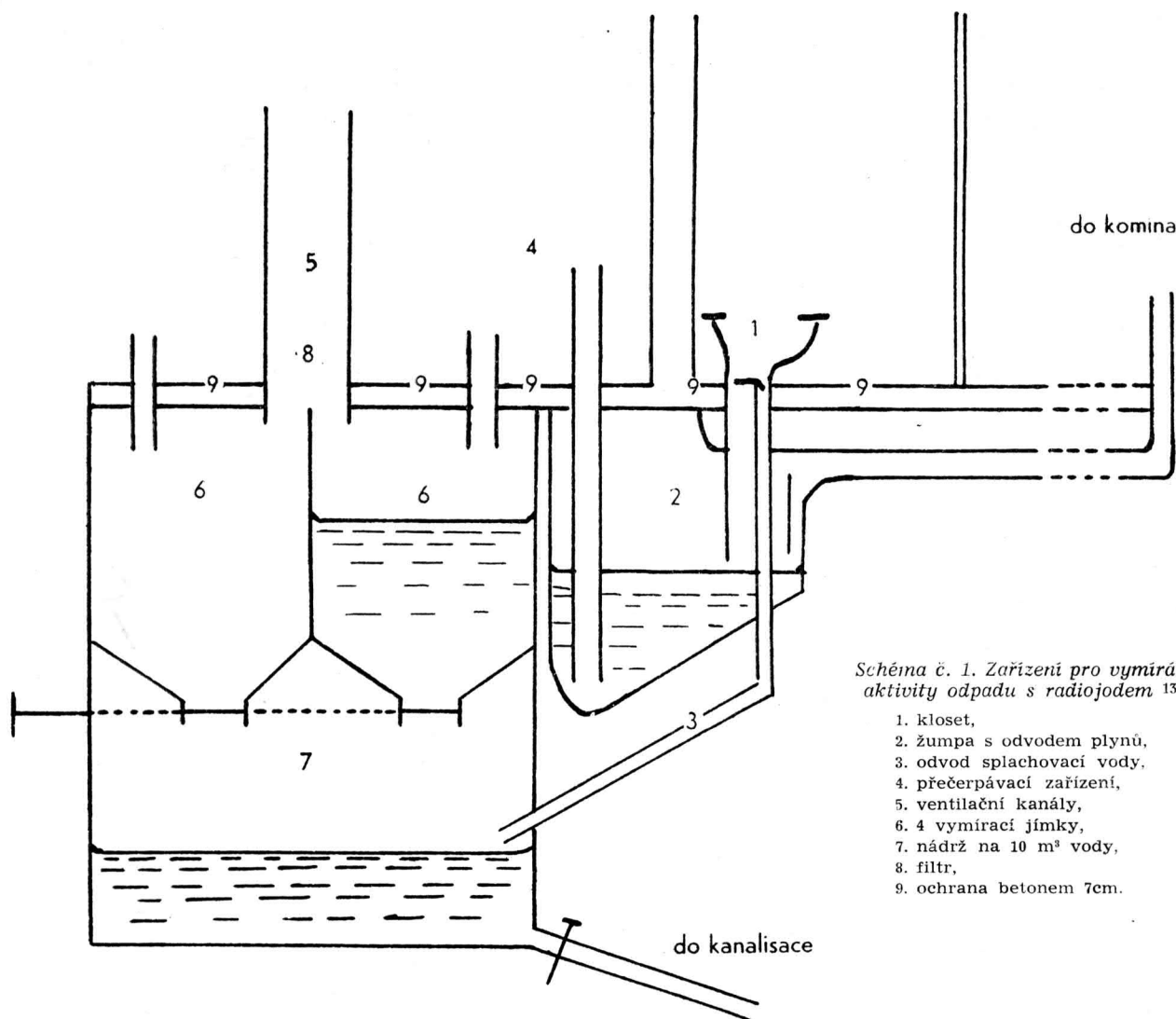
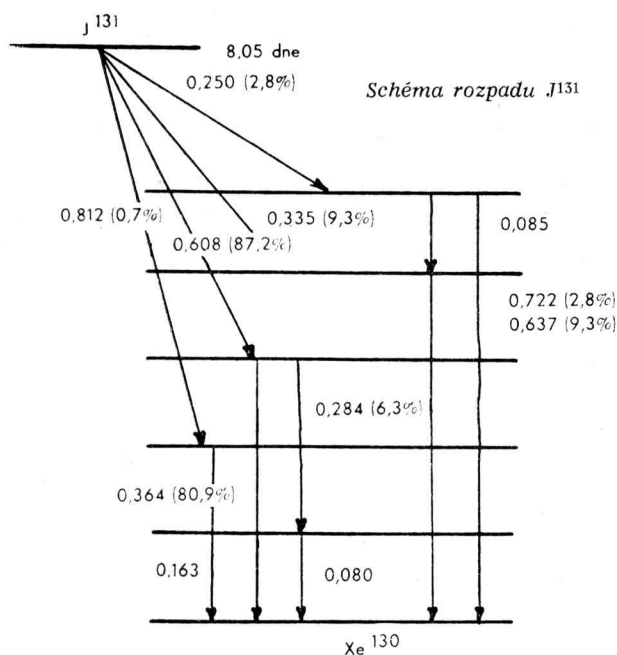


Schéma č. 1. Zařízení pro vymírání aktivity odpadu s radiojodem ^{131}

1. kloset,
2. žumpa s odvodem plynů,
3. odvod splachovací vody,
4. přečerpávací zařízení,
5. ventilační kanály,
6. vymírací jímky,
7. nádrž na 10 m^3 vody,
8. filtr,
9. ochrana betonem 7cm.



vypuštěním do kanalisace. Takový způsob je nejprostší, levný, bez nutnosti sbírání moči a stolice odděleně. Získáme tím spolehlivou kontrolu nad všemi odpady z oddělení.

Výpočet byl proveden na I^{131} , ale způsob likvidace se hodí i při jiných isotopech s poločasem rozpadu do 15 dnů.

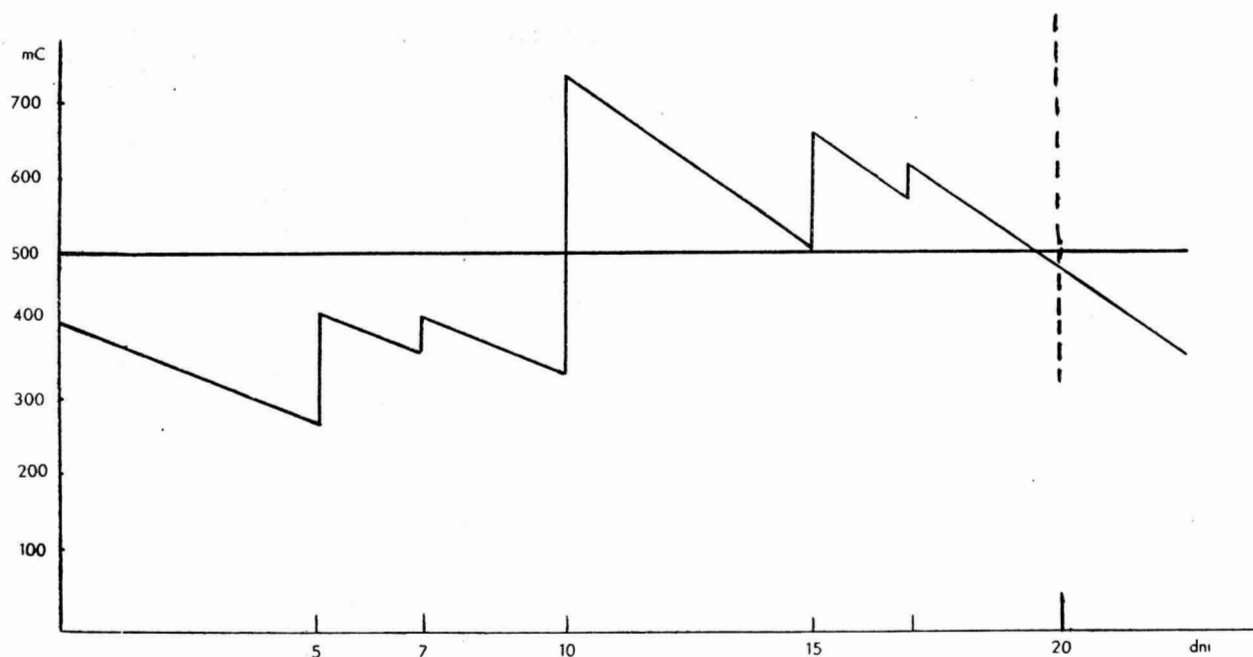
Navržený způsob spočívá v kombinaci žumpového záchodu se zařízením na ředění zbylé aktivity vodou (viz schéma č. 1 a č. 2).

Normy dovolují pouštět odpad I^{131} do kanalisace jen v koncentraci $1 \cdot 10^{-7} \text{ C/l.}^*)$ To znamená, že na $1 \text{ mC } I^{131}$ je nutno mít 10 m^3 vody na ředění. Jestliže tyto výpočty vezmeme za základ návrhu, musíme celé zařízení zkonstruovat tak, aby v poslední fázi vymírání v jímce byla aktivita 1 mC , kterou vypustíme do nádrže na 10 m^3 .

Aby se nezvětšil objem žumpy, je nutno odvést splachovací vodu do nádrže k ředění. Předpokládáme-li 100 použití záchodů za den, musíme použít omezeného množství 5 litrů vody na jedno spláchnutí. Za 20 dní se shromáždí 10 m^3 vody, právě tolik, kolik potřebujeme na ředění.

Protože v uzavřených jímkách mohou vznikat plyny, je nutné je vybavit odvodnými komíny a ty vyvést nad úroveň hřebene střechy nejbližší budovy.

*) Údaj ze sovětské normy. ČSN 341730 neřeší koncentraci radioisotopu v odpadu. (14) (11)

Schéma č. 2. Změny aktivity I^{131} v odpadové jímce

Na ochranu před gama zářením z žumpy i jímek musí být tloušťka podlahy, záchodů i zevního přístupu k jímce z betonu nejméně 7 cm silného.

Celé oddělení je nutno stavět v přízemí z několika důvodů:

1. Systém odpadu se nedá oddělit od přízemí. Vedení z 1. patra by zvětšovalo plochu vnitřního povrchu trubek, na nichž jod zasychá, a mohlo by vést k zamoření atmosféry.

2. Sklad isotopů oddělení se staví obvykle s tresorem zapuštěným do země.

Z následující tabulky je vidět, že chceme-li ke konci vymírání mít aktivitu 1 mC k ředění 10 m³ vody, musíme 1000 mC I^{131} držet 80 dní nebo 500 mC 72 dní.

Poločasy	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Dni	80	72	64	56	48	40	32	24	16	8
Aktivita v m	1024	512	256	128	64	32	16	8	4	2

Jak se nám bude hromadit aktivita v jímce?

Použili jsme příkladu kliniky o 30 lůžkách. Z toho bude asi 5 až 10 nemocných dostávat vysoké dávky (10 až 30 mC jednorázově), ostatní 2—5 mC jednorázově. Předpokládáme, že preparát I^{131} bude dodáván v pravidelných 10denních intervalech na kliniku. Je výhodné podávat I^{131} nemocným pokud možno první den po dodání, aby se snížily ztráty na rozpad (8 % denně).

Onkologicky nemocní dostanou první a pátý den do 30 mC, nemocní s thyreotoxikósou dostanou první den do 5 mC, pak až sedmý den 2 mC. Počítáme-li s 30 ambulantními pacienty po 3 mC na první a 2 mC na sedmý den, celkové množství podávaného jodu bude asi 700 mC za 10 dní.

Je výhodné podávat první den maximum dávky, to je celkem 400 mC na všechny klinické i ambulantní pacienty. Během 3 dnů v jímce bude do 350 mC vší aktivity. Do 8 dnů zde bude jen 180 mC. 5.—7. den přibude 150 mC a 7. až 10. den 60 mC. Tento cyklus se bude opakovat způsobem zachyceným na schématu č. 2.

Za 20 dní se nabere 500 mC aktivity. Počítáme-li s rezervou 8 dní, k vymření aktivity na 1 mC je třeba 10 poločasů. Tedy množství odpadu stolice a moči za 20 dní nutno držet 72 až 80 dní do snížení aktivity na 1 mC, poté vypustit do nádrže na 10 m³ vody, provést zředění a vypustit do kanalisace. K celému cyklu potřebujeme 4 jímky na vymírání aktivity.

Jak vypadá otázka objemu odpadu? 1 člověk denně produkuje průměrně 1200 ccm moči a 90 g stolice. 30 klinických nemocných denně dá 1300 × 30 = 39 000 ccm = 39 litrů odpadu. Počítaje s polyurií u thyreotiků můžeme vzít číslo 50 l. Ambulantní nemocní přinesou denně taktéž 50 l. Za 20 dní se nahromadí 1000 l od klinických a 300 l ambulantních nemocných, celkem okolo 1500 l, tj. 1,5 m³ odpadu.

Během 20 dnů se nahromadí 1,5 m³ odpadu v žumpě (viz schéma), přečerpá se do jímky, kde stojí 72—80 dní. Poté se vypustí do ředicí nádrže. Postupně se naplní celý systém. Přečerpávání, jak vyplývá ze schématu č. 2, je nezbytné provést ještě před dvacátým dnem, kdy začne postupovat do žumpy nové množství z nové dávky isotopů.

Souhrn

V článku bylo rozebráno nebezpečí, které představuje pro zamoření pracoviště a zevního prostředí používání preparátů I^{131} na radioterapeutických odděleních a v laboratořích klinik.

Hlavním zdrojem kontaminace jsou výměty, zejména moč nemocných.

Byl navržen způsob odstraňování odpadů modifikací žumpového záchodu a systémem vymírání jímek s následným ředěním obsahu. Navržený způsob odpovídá všem požadavkům norm pro odstraňování radioaktivního odpadu.

Резюме

В статье была рассмотрена угроза, которую представляет — в смысле заражения внешней среды — применение препаратов йода¹³¹ — в радиотерапевтических отделениях и лабораториях клиник.

Было установлено, что главным источником заражения является выделение изотопа с мочой и калом больных.

Была предложена система обезвреживания этих выделений путем модификации люфт-клозета с выдерживанием отходов и последующим их разбавлением.

Предложенный способ отвечает всем требованиям норм по удалению радиоактивных отходов.

Summary

The health hazard due to the contamination of the premisses by the use of I¹³¹ in radiotherapeutic departments and in clinical laboratories is discussed.

The principal source of contamination are excreta, especially the urine of patients. A method

of waste removal by the use of a modified cesspool latrine and a system of disintegration containers with following dilution of the content is advocated. The described method complies with all norms of radioactive fallout removal.

Pisemnictví

1. Radioaktivnyje isotopy v medicině i biologii, 1955.
2. V. Bočkarov a dr.: Izmerenie aktivnosti istočnikov beta i gama-izlučeniya, AVSSSR 1953.
3. C. Komar: Radioaktivnyje izotopy v biologii i sel'skom chozjajstvu, 1957.
4. Atomnaja tehnika za rubežom, Sv. 1, str. 71—73, 1958.
5. Rekomendation of the International Organisation on Radiological Protection, Ruský překlad, 1958.
6. S. F. Zajceva: Sovremennyye metody obezvreživaniya radioaktivnych otchodov (These přednášky na III. Vsesvazové konferenci 1956).
7. B. M. Zlobinskij: Bezopasnost' raboty s radioaktivnymi veščestvami 1958.
8. Granilščikov-Parchomenko: Sanitarno-gigieničeskije i sanitarno-techničeskije trebovaniya k planirovke i oborudovaniju laboratorij primenajajuščich radioaktivnyje izotopy. Medicin. radiologia 1956/1.
9. S. N. Gorodinskij-G. N. Parchomenko: Gigiena truda pri rabote s radioaktivnymi izotopami, 1958.
10. Instrukcija po primeněniyu joda¹³¹ dlja opredelenija funkcionalno sostojanija ščitovidnoj železy i dlja lečeniya tyreotoxikozov, 1956.
11. Československá státní norma 341730.
12. A. N. Marežev — Kommunalnaja gigiena, 1951.
13. A. N. Marej: Sanitarnaja ochrana otkrytych vodojemov ot zagrjaznenija radioaktivnymi veščestvami, 1958.
14. Měry zaščity ot radioaktivnyh izlučeni, 1958.
15. N. G. Gusěv: Spravočnik po radioaktivnym izlučeni- jam i zaščitě, 1956.