

356.33[614.881]:614.777(546.15.02)-074

ZJIŠŤOVÁNÍ RADIOJODU V POJÍZDNÝCH RADIOLOGICKÝCH LABORATOŘÍCH

Kapitán MUDr. Miroslav VODÁK,
Vojenský ústav hygieny, epidemiologie a mikrobiologie v Praze

Úvod

Zdravotnickou službu armády zajímá zamoření prostředí, vody a potravin štěpnými produkty výbuchu jaderných zbraní. Koncentrace radioizotopů jodu v mladé směsi není bezvýznamná (2). Protože izotopy jodu se koncentrují ve štítné žláze po všech způsobech vstupu do organismu, mohou se ve větších koncentracích podílet na ovlivňování bojeschopnosti vojsk. I v míru vzniká řada situací, kdy radiohygienická služba musí zjišťovat stupeň zamoření prostředí izotopy jodu.

Životní prostředí člověka může být znečištěno různým množstvím radioaktivních látek z pracovišť, užívajících tyto látky k laboratorní práci, k diagnostickým i terapeutickým účelům. Z atomových elektráren, i přes ochranná konstrukční opatření, také unikají i při běžném provozu do ovzduší malá množství těchto látek a radiojod reprezentuje značný díl této aktivity. Při haváriích unikají značná množství (3). Cesty přechodu radiojodu do organismu jsou známé.

Z uvedených důvodů musí mít zdravotnická služba svá odborná zařízení vybavena a připravena k zjišťování koncentrace radiojodu. Musí být vybavena metodou k důkazu radiojodu o specifické aktivitě $6 \cdot 10^{-10}$ Ci/l pro pitnou vodu (Vyhláška 34/63 Sb. zák.).

Prakticky pro každý izotop štěpné směsi existuje selektivní metoda k jeho určení ze zkoumaného materiálu (11). Metody stanovení štěpných produktů ve vodě jsou přehledně uvedeny v práci H. Schroedera (12). Metodicky je zpracováno stanovení ^{131}J ve vodě, mléce, biosubstrátech, spadu, půdě i rostlinách (7, 8, 10, 12–17). Při separaci radiojodu se užívá vhodných vlastností jodu:

- snadná destilace elementárního jodu z vodných roztoků,
- extrakce elementárního jodu rozpustidly,
- tvorba nerozpustných solí (konečná fáze některých metodik),
- výměna na iontoměničích,
- sorpce.

Většina publikovaných prací užívá ke stanovení radiojodu extrakční metody. K extrakci většinou užívá CCl_4 a srážením reextrahovaného jodidu do Ag^{131}J získává vhodnou formu radiojodu k registraci aktivity. Rozšířeno je i stanovení radiojodu na iontoměničích a metoda sorpce a izotopové výměny.

Použití pojízdných radiologických laboratoří zdravotnické služby (6) určuje specifické požadavky pro metodické postupy separace radionuklidů.

Metoda určování radiojodu v těchto laboratořích musí být časově nenáročná, musí zajišťovat včasnost a reprodukovatelnost získaných výsledků. Musí být nenáročná na technické (přístrojové omezení) i personální vybavení laboratoře. Musí poskytovat možnost sériové práce i v terénu a dostatečnou přesnost výsledků i nižších koncentrací radiojodu v materiálu (řádově do 10^{-10} Ci/litr). Těmto podmínkám žádná z publikovaných metod plně neodpovídá.

Metodika a výsledky

V naší práci jsme vyzkoušeli řadu publikovaných metodik separace radiojodu. Cílem bylo určit a vybrat metody vhodné pro pojízdné laboratoře. Snažili jsme se doporučit ty metody, které nejvíce odpovídají požadavkům na tyto laboratoře. Dále jsme chtěli i určit metodu nebo sku-

piru metod vhodných k dalšímu rozpracování pro použití v pojezdých laboratořích.

Záměrně jsme nezkoušeli separaci radiojodu destilačními metodami a separaci na iontoměničích jsme zkoušeli jen orientačně. K orientační separaci na ionexu jsme používali bazický Dowex 2X4, 1X8, 20/50 mesh ve formě chloridu. Výsledky našich pokusů byly vesměs shodné s údaji publikovanými v uvedené literatuře (průměrný výtěžek našich vzorků 84,6 %).

U skupiny destilačních metod byla zjevná jejich nevhodnost pro určený druh laboratoře (možnost ztrát, speciální destilační zařízení, většinou zdoluhavý, víceetapový proces), u skupiny separace na iontoměničích jsme vycházeli také z předpokladu, že terénní zařízení nebude možné vždy vybavit vhodným a výkonným ionexem.

Separaci jsme prováděli z užitkové vody kontaminované radiojodem 131 a modelovou směsí izotopů. U extrakční metody jsme po přidání nosiče [NaJ] provedli oxidaci do elementárního jodu (HNO_3 , NaNO_2). Elementární jod jsme extrahovali dichlorethanem a CCl_4 . V prvním případě jsme prováděli měření aktivity radiojodu přímo v dichlorethanu v dutinovém krystalu (9) [NaJ [Tl] scint. SKW 45/50]. Ve druhém případě jsme prováděli reextrakci elementárního jodu roztokem Na_2SO_3 v destilované vodě a obsažený radiojod jsme sráželi roztokem dusičnanu stříbrného do Ag^{131}J , který jsme měřili (5,11). Při stanovení jodu z biosubstrátů nebo potravin provádíme předběžnou úpravu vzorků k radiochemickému vyšetření (zejména pro převedení organicky vázaného jodu) (15). U sorpčních metod jsme zachovávali pracovní postupy uvedené v použité literatuře (4, 7, 13). V metodě chemosorpce mícháním jsme místo AgJ (4) použili k chemosorpci a izotopové výměně stříbrem aktivovaný jodid stříbrný (1) za stejných podmínek. Měření jsme prováděli při běžném vybavení pojezdé radiologické laboratoře většinou v dutinovém krystalu nebo GM trubicí (nižší koncentrace) a aparaturou NZQ 612. Izotop jsme separovali z objemu vody 100–1000 ml, zpracovávali jsme roztoky o specifické aktivitě řádově 10^6 – 10^{10} Ci/litr ^{131}J .

Výsledky práce jsme shrnuli do tabulek. V tabulce 1 jsou uvedeny výsledky získané separací extrakční metodou. K extrakci bylo použito dichlorethanu a měření aktivity jsme prováděli přímo v 5 ml této extrakční látky v dutinovém krystalu. Doba práce 15 minut. Průměrný výtěžek 95,6 %.

V tabulce 2 je uvedeno extrakční stanovení použitím CCl_4 (5, 11). Registrovanou formou radiojodu je sraženina Ag^{131}J , kterou jsme získali reextrakcí elementárního jodu do jodidu a vysrážením AgNO_3 . Měření jsme prováděli GM trubicí. Tabulka 3 demonstuje přehled ztrát při jednotlivých fázích separace. Průměrný výtěžek 86,4 %. V tabulce 4, 5 a 6 jsou uvedeny výsledky získané reprezentativními metodami chemosorpce a izotopové výměny. V tabulce 4 je uvedena průtoko-

Tab. 1

Aktivita vzorku před extrakcí imp./min.	Aktivita po extr. v 5 ml dichloret. imp./min.	Výtěžek extrakce %
2 406	3 036	99,05
2 111	1 959	92,8
2 068	2 035	98,3
2 040	2 013	98,6
304	269	88,5
304	288	94,8
304	286	94,1
14 579	14 159	97,0
17 277	16 803	97,0
56 960	54 740	96,0

Tab. 2

Aktivita vzorku před extr. imp./min.	Aktivita vz. Ag^{131}J po extr. imp./min.	Výtěžek %
708	627	88,6
639	633	99,0
469	376	80,2
518	428	82,6
469	384	81,9

Tab. 3

Měřený vzorek	Aktivita imp./min.	Výtěžek jedn. fází %	Celkový výtěžek %
	2 200	100	100
Extrahovaný element. jod	1 959	92,8	92,8
Reextrah. jod	1 946	100	92,8
Srážení [AgJ]	1 838	97,0	86,0

vá chemosorpce na stříbrem aktivovaný jodid stříbrný (1, 13, 14). Doba průtoku 90/min, průměrný výtěžek 83,1 %. V tabulce 5 je uvedena chemosorpce mícháním s aktivovaným jodidem stříbrným jako modifikace metody Eilanda (4). Průměrný výtěžek 78,6 %. Tabulka 6 uvádí výsledky získané chemosorpcí za průtoku na azbesový filtr sycený AgJ podle návodu Jaworovského (7). Doba průtoku 30 min., průměrný výtěžek 87 %.

Tab. 4

Aktivita vzorku před průtokem imp./min.	Aktivita filtru AgJ/Ag po průtoku 500 ml vody imp./min.	Výtěžek %
148 500	132 000	89,0
110 000	107 500	72,0
4 325	3 997	92,4
6 200	4 258	67,8
8 500	8 028	94,6

Tab. 5

Aktivita vzorku před separací imp./min.	Aktivita AgJ/Ag separ. a filtr. imp./min.	Doba mích. min.	Výtěžek %
145 000	114 000	75	79,0
5 916	4 539	120	76,7
6 043	4 931	75	81,7
5 668	4 370	90	77,1

Tab. 6

Aktivita vz. před průtokem imp./min.	Aktivita azbest. filtru po průtoku imp./min.	Výtěžek %
86 000	70 000	81,0
84 000	72 300	86,0
78 300	74 000	94,0

Diskuse a závěr

Získané výsledky se shodují s literárními údaji. Extrakční metody poskytují dostatečně přesné a reprodukovatelné výsledky (průměrný chemický výtěžek ze 40 vzorků 93,5 a 89 %). Jsou dostatečně selektivní (1). Při měření kapalného vzorku v dichloreтанu v dutinovém krystalu (tabulka 1) umožňují získat výsledek během 15 minut. Při měření radiojodu ve formě sraženiny Ag¹³¹I v GM trubici je možné stanovení i nižších koncentrací izotopu za cenu prodloužení separace. Obě reprezentativní metody jsou dostatečně jednoduché. Nejsou vhodné pro zpracování větších objemů vyšetřované tekutiny a nezajišťují sériovost vyšetření (nelze provádět více analýz současně).

Z chemisorpčních metod (4, 5, 7, 13, 14) se jeví nejvýhodnější průtoková chemisorpce na

stříbrem aktivovaný jodid stříbrný (13, 14), která je metodou jednoduchou, umožňující vysokou koncentraci izotopů i z velkých objemů tekutiny za přímého měření aktivity Ag¹³¹I/Ag (nejvýhodněji v dutinovém krystalu). Umožňuje sériovou práci i v terénu a poskytuje dostatečnou přesnost měření. Podle našich výsledků přesnost ovlivňuje různá výkonnost a kvalita předem připraveného aktivovaného jodidu stříbrného a konkurenční sorpce ostatních příměsí obsažených ve vyšetřované vodě.

Další reprezentativní metody chemisorpce (4, 7) a izotopové výměny (tabulka 5 a 6) neshledáváme výhodnějšími.

Na základě uvedených výsledků se doporučuje vybavení pojízdnych radiohygienických laboratoří pro separaci radiojodu extrakčními metodami i metodou chemisorpční. K extrakci je nejvýhodnější použít dichloreтан nebo CCl₄. Na rozdíl od literárních údajů (1) nepovažujeme za nutné provádět opakovanou extrakci. Určujeme-li malé koncentrace radiojodu ve vodě (řádu 10⁻⁹ — 10⁻¹⁰ Ci/l), provádíme měření radiojodu ve formě Ag¹³¹I GM trubici. Extrakční metody lze výhodně použít zejména pro jednorázová stanovení radiojodu v pitné a užitkové vodě, v mléce i biologickém materiálu.

Pro současnou analýzu většího množství vzorků se doporučuje provádět sériová vyšetření průtokovou chemisorpcí na AgJ/Ag předem připraveném ve skleněných trubičkách v množství 2 g na filtru z plastické hmoty. Průtokové zařízení je jednoduché, složené z třepací nádoby, gumových hadiček a skleněné trubičky s AgJ/Ag, které se po průtoku vkládají ve skleněné nebo polyetylenové zkumavce do studnicového krystalu k měření.

Tato metoda se doporučuje k dalšímu propracování.

Souhrn

V práci se předkládá srovnání výsledků separace radiojodu z užitkové vody různými metodami. Hlavním kritériem výběru byla použitelnost metod v pojízdnych radiologických laboratořích zdravotnické služby. Doporučuje se provádět separaci při jednorázových vyšetřeních extrakční metodou s měřením aktivity radiojodu ve formě AgJ GM trubici nebo v organickém rozpouštědle v dutinovém krystalu. Při sériových vyšetřeních se doporučuje separace průtokovou chemisorpcí.

Literatura

1. Brutovský, M., Zaduban, M., Baňas, J., Liptáková, G.: Příspěvek k stanovení ¹³¹I extrakční metodou. Chemické zvesti. 19, 1965, 470—474.
2. Blomeke, J. O.: Nuclear properties of ²³⁵U fission products. Oak Ridge, Tennessee 1955.
3. Dunster, H. J., Howelts, H.: Peaceful uses of At. Energy Geneva. 1958.
4. Eiland, H. M.: Talanta. 6, 1960, 112.
5. Hahn, R. B., Levi, S., Friedlander, R. L.: Determination of Radioact. Iodine in Water and Sewage. J. Am. Water Works Assoc. 50, 1958, 1499.
6. Halík, J.: Sborník vědeckých prací VLVDÚ. Naše vojsko 1963.
7. Jaworowski, Z.: An Improved method for determination of radioactive iodine in rain water and urine. Nukleonika. 5, 1961, 81.
8. Kahn, B., Reynolds, S. A.: Determination of Radionuclides in Low Concentrations in Water. J. Am. Water Works Assoc. 50, 1958, 613.

9. Knajfl, J.: Sborník vědeckých prací VLVDŮ. Naše vojsko 1963.
10. Murthy, G. K., Campbell, J. E.: A Simplified Method for the Determination of Iodine 131 in Milk. *Journal of Dairy Science*. 8, 1960, 1042—49.
11. Rodionova, L. P.: Radiochimičeskij analiz produktov dělenija. Moskva, Akademia nauk SSSR 1960.
12. Schroeder, H.: Radiochemische Bestimmung von Radionukliden im Wasser. Zusammenstellung radiochemischer Analysenverfahren. *Atompraxis*. 7, 1961, 11: 426—433.
13. Zaduban, M.: Metody stanovenia radiojódu v organických i anorganických materiáloch. *Radioizotopy*. 6, 1965, 2: 219—233.
14. Zaduban, M.: Stanovenie jodidu vedľa jódu viazaného v bielkovine pomocou striebrom aktivovaného jodidu strieborného za použitia ¹³¹I. *Bratislavské lekárske listy*. 43, 1963, 10: 596—601.
15. Analytical method for the determination of iodine 131 in vegetation, milk, thyroid glands and natural waters. P. G. Report 204(W), Harwell 1961.
16. Instruktivno-metodičeskije ukazanija po kontrolju za radioaktivnostju vněšnej sredy. Moskva, Atomizdat 1964.
17. Sbornik radiochimičeskich i dozimetričeskich metodik. Moskva, Medgiz 1959.