

Radionuklid

V současné době obsahuje standardní 18sloupcová periodická soustava prvků 118 prvků. Nuklidy prvků, které jsou schopné samovolné radioaktivní přeměny jader, nazýváme **radionuklidy**. Během této radioaktivní přeměny se uvolňuje radioaktivní záření. Radionuklidů je mnohem více než stabilních nuklidů, v současnosti je jich známo okolo 2000. Každý prvek bývá zastoupen více radioizotopy. Některé radionuklidy, zvláště s vysokým jaderným číslem, se po rozpadu mohou **dále přeměňovat** (rozpadové řady) a tím zvyšovat radiační zátěž organismu. Každý radionuklid má svůj charakteristický **poločas rozpadu, druh přeměny a aktivitu**.

Radionuklidy jsou v medicíně používány pro **značení** nejrůznějších látek, sledování jejich množství a metabolismu.

- kvantitativní metody sledují množství záření ze vzorku,
- kvalitativní metody slouží k určení rozložení radionuklidu (v orgánech, buňkách).

Shrnutí jednotlivých radionuklidů využívaných v nukleární medicíně a jejich charakteristických vlastností je uvedeno v tabulce:

Tabulka radionuklidů využívaných v nukleární medicíně

| radionuklidy | poločas rozpadu | druh přeměny | energie |
|-------------------|-----------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| ¹¹ C | 20 minut | beta ⁺ ,pozitrony | 0.96 MeV |
| ¹³ N | 10 minut | beta ⁺ ,pozitrony | 1.19 MeV |
| ¹⁵ O | 2 minuty | beta ⁺ ,pozitrony | 1.73 MeV |
| ¹⁸ F | 110 minut | beta ⁺ ,pozitrony | 0.635 MeV |
| ⁶⁸ Ga | 68 minut | beta ⁺ ,pozitrony | 1.9 MeV |
| ⁸² Rb | 1.3 minuty | beta ⁺ ,pozitrony | 3.15 MeV |
| ⁵⁷ Co | 272 dnů | EZ, gama | 122 keV |
| ⁵¹ Cr | 27,7 dnů | EZ, gama | 320 keV |
| ⁶⁷ Ga | 78 hodin | EZ, gama | 91, 185, 300, 394 keV |
| ¹²³ I | 13 hodin | EZ, gama | 157 KeV |
| ¹²⁵ I | 60 dnů | EZ, gama | 35 keV |
| ¹³¹ I | 8 dnů | beta ⁻ ,beta; gama | 606 keV; 80, 284 364 keV |
| ¹¹¹ In | 2,8 dne | EZ, gama | 171, 245 keV |
| ^{81m} Kr | 13,3 sekund | IP, gama | 190 keV |
| ⁹⁹ Mo | 67 hodin | beta ⁻ ,beta; gama | 1.214 MeV; 141,181,740 keV |
| ³² P | 14,3 dne | beta ⁻ ,beta | 1.709 MeV |
| ¹⁵³ Sm | 47 hodin | beta ⁻ ,beta; gama | 630, 700, 803 keV; 103 keV (34%) |
| ⁸⁹ Sr | 50,5 dne | beta ⁻ ,beta | 1.488 MeV |
| ^{99m} Tc | 6 hodin | IP, gama | 140 keV |
| ²⁰¹ Tl | 73 hodin | EZ, gama | 78, 167 keV |
| ¹³³ Xe | 36,4 dne | EZ, gama | 172, 203 keV |
| ⁹⁰ Y | 64 hodin | beta ⁻ ,beta | 2,28 MeV |
| ¹⁸⁶ Re | 90,6 hodin | beta ⁻ ,beta; gama | 1.07 MeV; 137 keV |
| ²²³ Ra | 11,4 dne | alfa | 5.75 MeV |
| ²¹¹ At | 7,2 hodiny | alfa | 5.87 MeV |
| ²¹² Bi | 1,01 hodin | alfa + beta ⁻ , alfa; beta | 6.09 MeV; 2.25 MeV |

Využití radionuklidů

Laboratorní metody založené na detekci záření (např. RIA) ustupují novým metodám (ELISA), které nevyužívají ionizující záření, neboť práce s radionuklidy vyžaduje nákladné zabezpečení a znamená vyšší riziko. Dříve ale byly jedinou cestou, jak sledovat buněčné děje (syntéza DNA, metabolické dráhy, ...).

Naprosto klíčovou roli hrají radioizotopy v nukleární medicíně, kde se používají k výrobě radiofarmak. Rozlišujeme radionuklidy pro **diagnostické** a pro **terapeutické** využití. Jejich rozložení je pak sledováno speciálními přístroji (např. PET, Gamakamera, ...).

Diagnostické radionuklidy

^{99m}Technecium

^{99m}Tc (zkráceně ^{99m}Tc) je dnes nejčastěji používaným radioizotopem při scintilačních vyšetřeních v nukleární medicíně. Písmeno *m* značí **metastabilní stav** jádra, které je na vyšší energetické hladině a při deexcitaci emituje γ fotony.

Oproti jiným radionuklidům má mnoho výhod. **Snadno se získává** rozpadem uměle připravovaného ⁹⁹molybdenu, který je nejčastěji umístěn v radionuklidovém generátoru. Energie jeho fotonů je **140 keV** a poločas rozpadu asi **6 hodin**, znamená tedy malou radiační zátěž pro organismus. Zároveň je jeho energie dostatečná k dobré detekci záření. Krátký poločas umožňuje podání radiofarmaka o vyšší aktivitě, čímž získáme lepší výsledky vyšetření (více signálů).

^{99m}Tc se získává z generátorů ve formě **pertechnátu** (technecistanu) TcO₄⁻. Ten lze přímo využít při vyšetření štítné žlázy. Redukcí pertechnátu chloridem cínatým vzniká látka, která se velmi ochotně zapojuje do dalších chemických reakcí, čehož se využívá k **připojení na nosič** (označení látky).

⁶⁷Galium

⁶⁷Ga se ve formě **⁶⁷Ga-citrátu** podává při vyšetření nádorů a zánětů. Specificky se vychytává v **hepatocelulárním ca., lymfomech, maligním melanomu a v měkkotkáňových sarkomech**. Rovněž se používá k vyhledávání **zánětlivých ložisek**. Může se ale také fyziologicky hromadit v aktivní tkáni thymu a štítné žlázy.

Jodové radionuklidy

Nevázaný **¹³¹I** je nejdéle používaným radionuklidem. Je to **smíšený β a γ zářič**. *β složka* radiačně zatěžuje tkáň a není scintigraficky detekovatelná, proto není ¹³¹I doporučován k diagnostickým vyšetřením. Hojně je využíván při terapii diferencovaných karcinomů štítné žlázy (ne medulárních!). Dávky s menší aktivitou se podávají při hyperaktivní strumě. *γ složka* záření je vhodná pro sledování průběhu terapie (post-terapeutická scintigrafie), případně pro diagnostické účely pro **vyhledávání metastáz**. Při diagnostice karcinomů štítné žlázy podáváme menší dávku, než při terapii.

V případě jaderných havárií je potřeba obyvatelstvu podat neradiokativní jód, kterým se štítná žláza vysytí. Jinak by došlo k zachytu radioaktivního jódu a ten by při rozpadu mohl vést ke vzniku malignit a těžkému poškození žlázy.

Nevázané **¹²³I** a **¹²⁵I** lze využít k ryze diagnostickým záměrům, vychytávají se obdobně jako ¹³¹I. Ve vázané podobě se používají jako ostatní radionuklidy např. při značení monoklonálních protilátek (¹²⁵I-MoAb).

¹⁸Fluor

¹⁸F je **pozitronový zářič**. Ve formě **¹⁸F-FDG** (fluorodeoxyglukózy) je nejpoužívanějším radiofarmakem při **PET vyšetřeních**, kdy se zobrazuje metabolismus glukózy ve vyšetřované oblasti. Jeho nevýhodou jsou **krátký poločas rozpadu**, dodání fluoru musí proto být velmi rychlé, (urychlovače musí být blízko), **vysoká energie anihilačního záření** (2x 511 keV) a vysoké nároky na **ochranu před zářením**.

²⁰¹Thallium

²⁰¹Tl je umělý radionuklid, který se s T_{1/2}=72h přeměňuje na izotop rtuti ²⁰¹Hg. ²⁰¹Tl se využívá při perfuzní scintigrafii myokardu. Jednou z nevýhod ²⁰¹Tl je jeho dlouhý poločas rozpadu, čímž vzniká větší zátěž na tělo. I proto ho dnes nahrazuje izotop Technecia ^{99m}Tc, který má podobné využití, avšak díky svému T_{1/2}=6h zatěžuje tělo méně.

¹¹¹Indium

¹¹¹In se využívá při imunoscintigrafii k diagnostice nádorových onemocnění.

^{81m}Kr - Krypton

Využíváme při scintigrafii plicní ventilace.

Ostatní radionuklidy

Mezi další používané radionuklidy patří:

- **¹¹C, ¹³C** – krátký poločas rozpadu, využívány při scintigrafii plicní ventilace a při dechovém testu se značenou močovinou;
- **⁴⁵Ca** – vyšetření metabolismu kostí;
- **³²P** – sledování metabolických dějů v buňkách (např. syntéza DNA).

Terapeutické radionuklidy

Jako terapeutické radionuklidy využíváme takové, které mají vysokou aktivitu a krátký dosah záření. Radionuklidy, které se specificky vychytávají ve tkáních a prodělávají **β přeměnu**, jsou využívány v terapii některých nádorových onemocnění. **Otevřené α zářiče** se zatím terapeuticky neuplatňují. V současné době ale probíhají výzkumy, které by tuto skutečnost mohly změnit. α zářiče mají velmi malý dosah, při specifické aplikaci by ničily pouze nádorové tkáně. Ale jejich záření je natolik „tvrdé“ (vysoký LET \rightarrow poškození tkání), že bychom pacientovi spíše přitížili.

^{131}I - Jód

Využívá se k léčbě hyperfunkce štítné žlázy (**už více než 50 let**) a k léčbě diferencovaných karcinomů štítné žlázy.

^{90}Y - Yttrium

Podává se ve formě koloidu a využívá se k radionuklidové synovektomii.

^{89}Sr - Stroncium

Využívá se k léčbě bolestivých kostních metastáz, váže se do lemu osteoblastické aktivity v okolí metastáz a k paliativní léčba kostních malignit.

Výroba radionuklidů

V dnešní době se pro potřeby nukleární medicíny používají pouze uměle připravené radionuklidy, které dosahují vysoké čistoty. Získávají se z:

- **cyklotronů,**
- **radionuklidových generátorů,**
- **jaderných reaktorů.**

Výroba v cyklotronu

Kladně nabitě částice (deuterony, protony, heliová jádra) jsou urychlena a naráží do terče, vyrobeného z „mateřských“ prvků. Jadernými interakcemi se zabudovávají do struktury cílových atomů a mění jejich jaderná a protonová čísla \rightarrow změna prvků. Po ozařování se z terče chemickými reakcemi uvolní radionuklid, zbylý „mateřský“ prvek nereaguje a neuvolní se.

Radionuklidy vyráběné v cyklotronech

- **^{111}In ,**
- **^{123}I ,**
- **^{201}Tl ,**
- Lze vyrábět i jiné radionuklidy (např. ^{67}Ga), pro jejich získávání jsou ale vhodnější generátory (viz níže).

Jaderné reaktory

Z jaderných reaktorů štěpících nejčastěji ^{235}U lze získávat jednak radioizotopy izolací ze štěpných produktů, jednak lze využít vzniklých neutronů.

Neutrony, vzniklé štěpením uranu, jsou příliš rychlé, mají vysokou energii a při jejich interakci s jádrem by došlo k jeho rozštěpení. Proto je nutné neutrony zpomalit (moderovat). Pomalé, tzv tepelné, neutrony se pak snadno spojují s jádrem, často za vyzáření fotonu γ .

Ze **štěpných produktů** se získávají podobné radionuklidy jako z neutronových interakcí. Při čištění se využívá různých chemických metod (destilace, chromatografie, precipitace). Lze ovšem získávat jen radionuklidy s delším poločasem rozpadu.

Radionuklidy získávané z reaktorů nebo ozařováním neutrony

- **^{99}Mo ,**
- **^{59}Fe .**

Radionuklidové generátory

Jsou, díky své ceně, velikosti, jednoduchosti a snadnému použití, nejvyužívanějším zdrojem radionuklidů.

1. Generátor $^{99}\text{Mo} \rightarrow ^{99\text{m}}\text{Tc}$
2. Generátor $^{81}\text{Rb} \rightarrow ^{81\text{m}}\text{Kr}$
3. Generátor $^{68}\text{Ge} \rightarrow ^{68}\text{Ga}$
4. Generátor $^{90}\text{Sr} \rightarrow ^{90}\text{Y}$

Generátor $^{99}\text{Mo} \rightarrow ^{99\text{m}}\text{Tc}$

^{99}Mo ($T_{1/2}$ 66 h.) \rightarrow $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ($T_{1/2}$ 6 h.) \rightarrow ^{99}Tc (2.1×10^5 let) Základem je olovem stíněná kolona obsahující oxid hlinitý s adsorbovaným ^{99}Mo ($T_{1/2}$ 66 hodin). ^{99}Mo se přeměňuje beta- rozpadem na $^{99\text{m}}\text{Tc}$, které je velmi slabě vázáno na oxid hlinitý a je vymýváno elucí sterilním fyziologickým roztokem do sterilní olovem stíněné vakuované lahvičky. Generátor je použitelný dva týdny.

Generátor ^{81}Rb -> $^{81\text{m}}\text{Kr}$

^{81}Rb ($T_{1/2}$ 4.6 h.) \rightarrow $^{81\text{m}}\text{Kr}$ ($T_{1/2}$ 13 s., 191 keV) Generátor je umístěn v olověném krytu přímo u pacienta a plynný $^{81\text{m}}\text{Kr}$ je vymýván proudem vzduchu. Rozložení radioaktivity v plicích po inhalaci se zobrazuje gamakamerou.

Generátor ^{68}Ge -> ^{68}Ga

^{68}Ge ($T_{1/2}$ 287 dní) \rightarrow ^{68}Ga ($T_{1/2}$ 68 minut) ^{68}Ga – pozitronový zářič pro PET, slouží k zobrazení neuroendokrinních nádorů.

Generátor ^{90}Sr -> ^{90}Y

^{90}Sr ($T_{1/2}$ 28 let) \rightarrow ^{90}Y ($T_{1/2}$ 64.2 hodin) ^{90}Y – používá se k radiační synovektomii.

Odkazy

Související články

- Radiofarmaka
- PET
- Scintigrafie
- Radionuklidový generátor

Zdroj

- ULLMANN, Vojtěch. *1.Jaderná a radiační fyzika* [online]. [cit. 2014-12-05]. <<http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika4.htm>>.
- SKALICKÁ, Zuzana a Jiří HALAŠKA. *4.3.1. Zdroje ionizujícího záření využívané ve zdravotnictví* [online]. [cit. 2014-12-05]. <<http://fbmi.sirdik.org/4-kapitola/43/431.html>>.

Použitá literatura

- KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL, et al. *Nukleární medicína*. 1. vydání. vydavatel, 2007. 185 s. ISBN 978-80-903584-9-2.