

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

### <sup>99m</sup>Technecium

**<sup>99m</sup>Tc** (zkráceně <sup>99m</sup>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 <sup>99</sup>molybdenu, 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).

<sup>99m</sup>Tc se získává z generátorů ve formě **pertechnátu** (technecistanu) TcO<sub>4</sub><sup>-</sup>. 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).

## **<sup>67</sup>Galium**

<sup>67</sup>Ga se ve formě **<sup>67</sup>Ga-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 **<sup>131</sup>I** je nejdéle používaným radionuklidem. Je to **smíšený β a γ zářič**. *β složka* radiačně zatěžuje tkáň a není scintigraficky detekovatelná, proto není <sup>131</sup>I 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 **<sup>123</sup>I** a **<sup>125</sup>I** lze využít k ryze diagnostickým záměrům, vychytávají se obdobně jako <sup>131</sup>I. Ve vázané podobě se používají jako ostatní radionuklidy např. při značení monoklonálních protilátek (<sup>125</sup>I-MoAb).

## **<sup>18</sup>Fluor**

**<sup>18</sup>F** je **pozitronový zářič**. Ve formě **<sup>18</sup>F-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**.

## **<sup>201</sup>Thallium**

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

## **<sup>111</sup>Indium**

**<sup>111</sup>In** se využívá při imunoscintigrafii k diagnostice nádorových onemocnění.

## **<sup>81m</sup>Kr - Krypton**

Využíváme při scintigrafii plicní ventilace.

## **Ostatní radionuklidy**

Mezi další používané radionuklidy patří:

- **<sup>11</sup>C, <sup>13</sup>C** – krátký poločas rozpadu, využívány při scintigrafii plicní ventilace a při dechovém testu se značenou močovinou;
- **<sup>45</sup>Ca** – vyšetření metabolismu kostí;
- **<sup>32</sup>P** – 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  **$\beta$  přeměnu**, jsou využívány v terapii některých nádorových onemocnění. **Otevřené  $\alpha$  zářiče** se zatím terapeuticky neuplatňují. V současné době ale probíhají výzkumy, které by tuto skutečnost mohly změnit.  $\alpha$  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.

## **$^{131}\text{I}$ - Jód**

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

## **$^{90}\text{Y}$ - Yttrium**

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

## **$^{89}\text{Sr}$ - 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**

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

## **Jaderné reaktory**

Z jaderných reaktorů štěpících nejčastěji  $^{235}\text{U}$  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  $\gamma$ .

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**

- **$^{99}\text{Mo}$ ,**
- **$^{59}\text{Fe}$ .**

## **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 $^{99}\text{Mo} \rightarrow ^{99\text{m}}\text{Tc}$**

$^{99}\text{Mo}$  ( $T_{1/2}$  66 h.)  $\rightarrow$   $^{99\text{m}}\text{Tc}$  ( $T_{1/2}$  6 h.)  $\rightarrow$   $^{99}\text{Tc}$  ( $2.1 \times 10^5$  let) Základem je olovem stíněná kolona obsahující oxid hlinitý s adsorbovaným  $^{99}\text{Mo}$  ( $T_{1/2}$  66 hodin).  $^{99}\text{Mo}$  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 $^{81}\text{Rb}$ -> $^{81\text{m}}\text{Kr}$**

$^{81}\text{Rb}$  ( $T_{1/2}$  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 $^{68}\text{Ge}$ -> $^{68}\text{Ga}$**

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

### **Generátor $^{90}\text{Sr}$ -> $^{90}\text{Y}$**

$^{90}\text{Sr}$  ( $T_{1/2}$  28 let)  $\rightarrow$   $^{90}\text{Y}$  ( $T_{1/2}$  64.2 hodin)  $^{90}\text{Y}$  – 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.