

## Nedestruktivní stanovení fosforu v různých druzích živočišných tkání neutronovou aktivační analýzou

M. RAKOVIČ, H. TALPOVÁ

*Katedra lékařské fyziky a nukleární medicíny, Fakulta všeobecného lékařství Karlovy university, Praha*

Nedestruktivní stanovení fosforu v živočišných tkáních je založeno na dvacetihodinové aktivaci tokem neutronů  $1,5 \cdot 10^{12}$  neutronů  $\cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  a na přímém měření četnosti impulsů Geiger—Müllerovou trubicí po čtrnáctidenní vymírací době. Ke stanovení postačí méně než 0,03 mg vzorku suché váhy.

Stanovení daného prvku v určitém vzorku je možno v řadě případů provést nedestruktivně, častěji však je nutno provádět chemickou separaci. Nedestruktivní stanovení je pochopitelně výhodnější. Zabývali jsme se proto v této a v dřívějších pracích [1, 2] otázkou možnosti nedestruktivní aktivační analýzy biologického materiálu, a to bez použití  $\gamma$  spektrometru. Přichází zde v úvahu stanovení tří prvků: sodíku, draslíku a fosforu, které jsou v biologickém materiálu obsaženy v podstatně vyšším množství než stopové prvky (kobalt, měď, zinek aj.) a přitom se tepelnými neutrony snadno aktivují za vzniku radioizotopů  $^{24}\text{Na}$ ,  $^{42}\text{K}$  a  $^{32}\text{P}$ .

Nedestruktivní stanovení fosforu v biologickém materiálu je založeno na měření aktivity  $\beta$  Geiger—Müllerovou trubicí po určité vymírací době, kterou se eliminuje vliv dalších dvou hlavních radioaktivních komponent:  $^{42}\text{K}$  (poločas rozpadu 12,5 hodiny) a  $^{24}\text{Na}$  (poločas rozpadu 15,4 hodiny). Takto naměřená aktivita přísluší radiofosforu  $^{32}\text{P}$ , který vzniká reakcí  $^{31}\text{P}(n, \gamma)^{32}\text{P}$ . Takto stanovovali fosfor L. Reiffel a C. A. Stone [3] ve svalu a J. S. Beck a T. R. Manery [4] v hmyzích tkáních (křídla brouka).

Metoda je velmi jednoduchá a její použití při sledování metabolismu fosforu v nejrůznějších ssavčích tkáních by bylo vítáno na mnoha pracovištích. Protože však prvkové složení různých tkání je různé (hlavně se v tomto smyslu značně liší kost od měkkých tkání), nelze bez předchozího experimentálního ověření z použitelnosti dané metody pro uvedené druhy tkání usuzovat na použitelnost pro analýzu jiných orgánů. Pro ověření správnosti nedestruktivního stanovení fosforu mluví též skutečnost, že v literatuře popsané nedestruktivní stanovení draslíku [5] v biologickém materiálu jsme pro značný vliv sodíku shledali nevhodným [2] a v případě stanovení sodíku jsme našli menší, nicméně patrný vliv draslíku [1], který je možno korigovat například podle vztahu, který jsme navrhli [6].

### Experimentální část a výsledky

Vysušené a zvážené vzorky jater, svaly, ledviny a kosti, získané z bílých krys laboratorního chovu, byly zataveny do polyetylénových trubiček délky asi 2—3 cm, vnitřní průměr 4, vnější 5,5 mm. Váhy jednotlivých vzorků byly asi 1—3 mg.

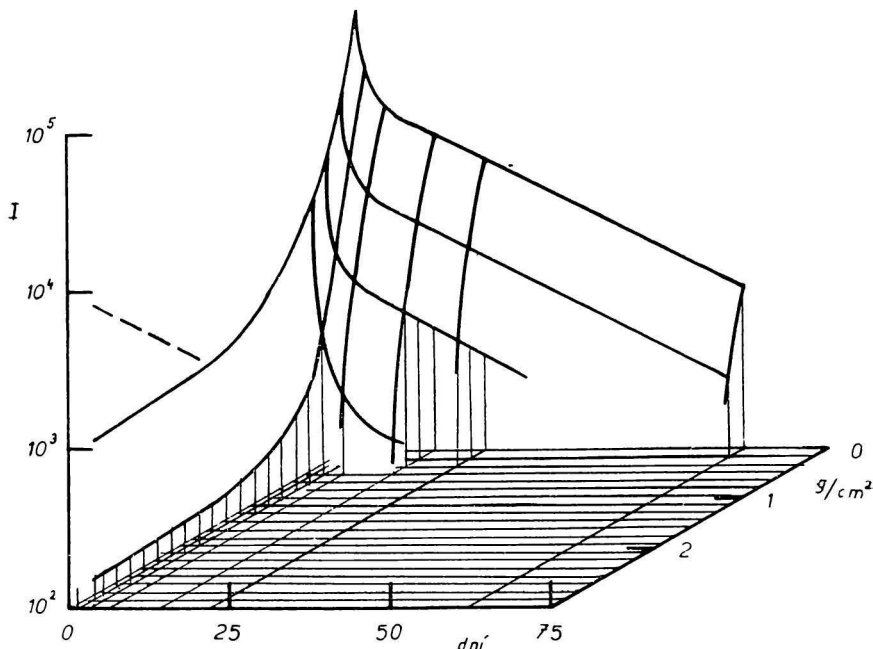
Vzorky byly 20 hodin aktivovány tokem tepelných neutronů  $1,5 \cdot 10^{12}$  neutronů  $\cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  v tepelném sloupci reaktoru ÚJV ČSAV v Řeži u Prahy. Po skončení aktivace a převozu na pracoviště byly trubičky otevřeny a vzorky převedeny na standardní hliníkové mističky.

Bylo prováděno měření četnosti impulsů v různých časových intervalech a za použití různého počtu hliníkových filtrů. Tloušťka jednoho filtru byla  $0,145 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ . K měření bylo použito Geiger—Müllerovy trubice Tesla Liberec, typ 30/30 AB, průměr katody 30 mm, délka katody 30 mm, tloušťka okénka  $1,4\text{--}2 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$ , průměr okénka 32 mm. Vzdálenost vzorku od okénka trubice byla 40 mm.

Četnosti impulsů měřené v prvních časových intervalech jsou poměrně vysoké. Podmínky měření byly takto voleny proto, aby při dalších měřeních, tj. s použitím filtrů, a v dalších časových intervalech, kdy četnosti značně poklesnou, bylo možno získat dostatečně reprodukovatelné výsledky. Byla stanovena mrtvá doba použité trubice metodou měření četnosti dvou preparátů [7] a naměřené hodnoty byly vzhledem ke zjištěné hodnotě mrtvé doby korigovány.

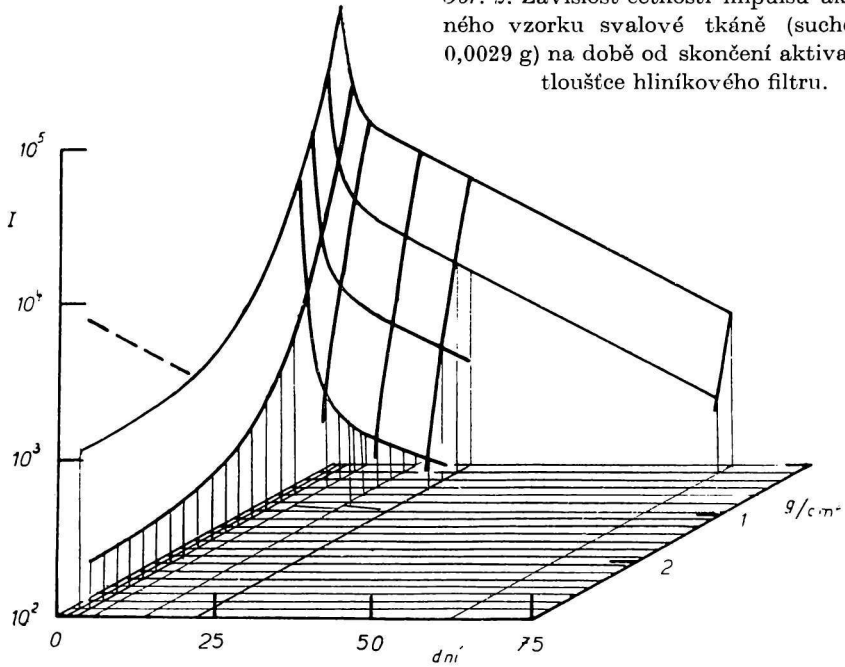
Výsledky měření jsou znázorněny graficky pro játra (obr. 1), sval (obr. 2), ledvinu (obr. 3) a kost (obr. 4).

Na vodorovné ose ( $x$ ) je vynesena čas od skončení aktivace, na svislé ( $y$ ) naměřená četnost impulsů, po odečtení pozadí, v logaritmické stupnici, na šikmé ( $z$ ) tloušťka hliníkového filtru. Křivky o souřadnici  $z = \text{const}$  tedy znázorňují průběh rozpadové křivky při dané tloušťce filtru, křivky o souřadnici  $x = \text{const}$  jsou absorpční křivky naměřené v různých časových intervalech.

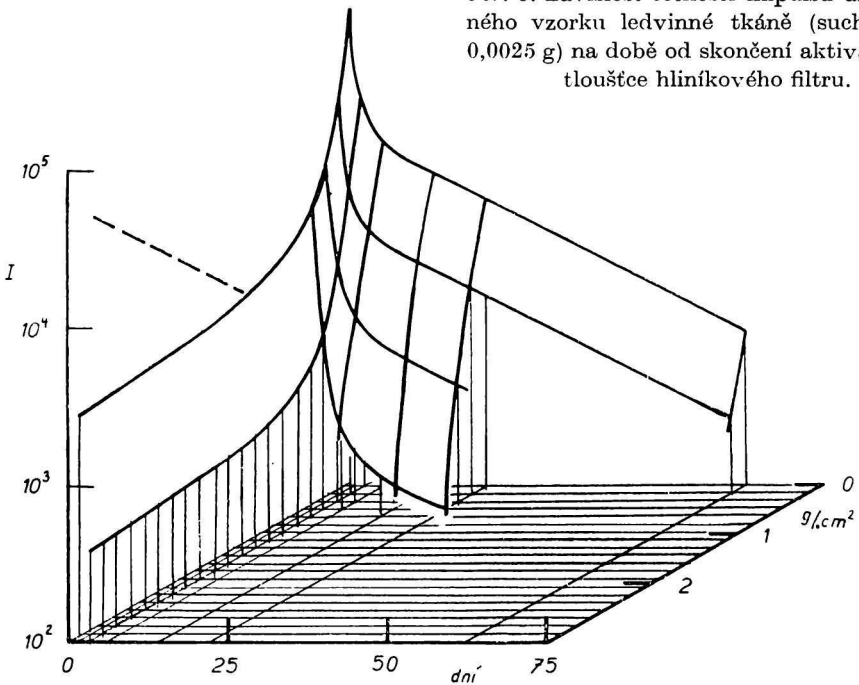


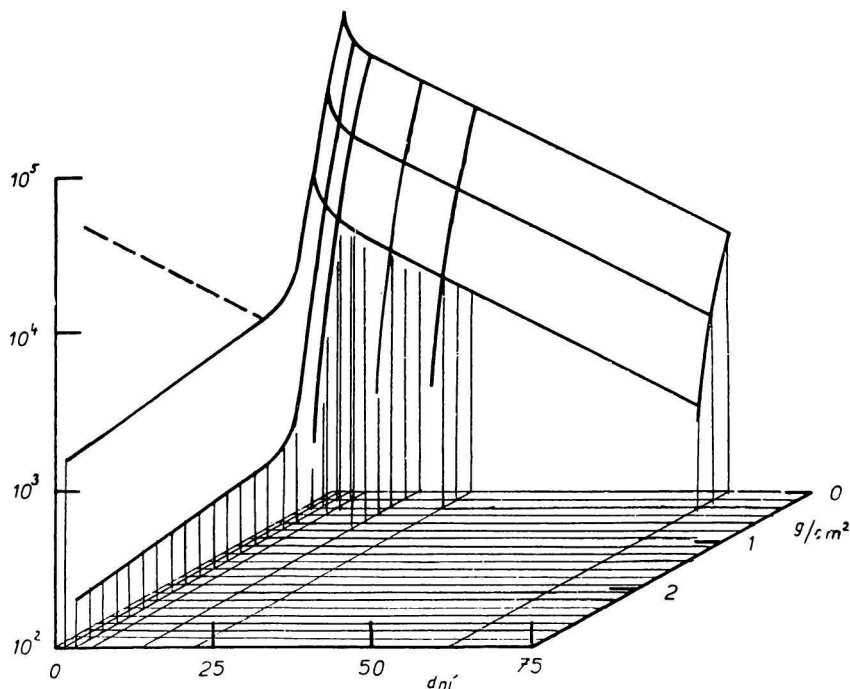
Obr. 1. Závislost četnosti impulsů aktivovaného vzorku jaterní tkáně (suché váhy  $0,0024 \text{ g}$ ) na době od skončení aktivace a na tloušťce hliníkového filtru.

Obr. 2. Závislost četnosti impulsů aktivovaného vzorku svalové tkáně (suché váhy 0,0029 g) na době od skončení aktivace a na tloušťce hliníkového filtru.



Obr. 3. Závislost četnosti impulsů aktivovaného vzorku ledvinné tkáně (suché váhy 0,0025 g) na době od skončení aktivace a na tloušťce hliníkového filtru.





Obr. 4. Závislost četnosti impulsů aktivovaného vzorku kostní tkáně (suché váhy 0,0012 g) na době od skončení aktivace a na tloušťce hliníkového filtru.

### Diskuse

Z obrázků je patrné, že rozpadové křivky mají ve všech případech, počínaje čtrnáctým dnem po aktivaci, přímkový průběh a že jsou rovnoběžné s čárkovanou přímkou, která znázorňuje teoretický průběh rozpadu radiofosforu  $^{32}\text{P}$ , zatímco první části rozpadových křivek ukazují, že se v dřívějších časových intervalech uplatňují též krátkodobější izotopy.

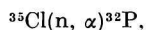
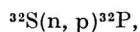
Podobně absorpční křivky, naměřené v časovém intervalu 14 dní a později po aktivaci, ukazují na typický průběh absorpce záření  $\beta$ , emitovaného zářičem s jedním energetickým maximem. Naopak absorpční křivky naměřené v dřívějších časových intervalech ukazují na značný podíl záření  $\gamma$ , neboť po použití většího počtu filtrů je již průběh absorpce přímkový.

Vzájemným srovnáním jednotlivých obrázků vidíme, že rozpadové a absorpční křivky mají pro aktivované vzorky měkkých tkání (obr. 1, 2, 3) velmi podobný průběh. U vzorku kosti (obr. 4), která obsahuje daleko více fosforu v poměru k prvkům, jež poskytují krátkodobější radionuklidy, než měkké tkáně, jsou tyto křivky poněkud odlišné.

Poločasy rozpadu radioizotopů, které mohou vznikat ze všech, i stopových prvků vyskytujících se v biologickém materiálu, jsou podstatně odlišné od poločasu rozpadu radiofosforu  $^{32}\text{P}$ . Proto je průběh rozpadové křivky dostatečným kritériem správnosti metody. Kromě toho jako vedlejší kritérium správnosti slouží i absorpční křivky. Lze tedy aktivací vzorků živočišných tkání po dobu 20 hodin a měřením četnosti impulsů záření  $\beta$  po vymírací době alespoň 14 dnů (ve srovnání se standardem) stanovit fosfor.

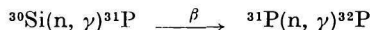
Jak je vidět z průběhu rozpadových křivek, neúčastnil se na naměřených hodnotách ani vliv vápníku, což je pochopitelné vzhledem k nízkému relativnímu izotopovému zastoupení terčového nuklidu  $^{44}\text{Ca}$  (2,1 %) a vzhledem k době aktivace (20 hodin), která je příliš krátká ve srovnání s poločasem rozpadu (152 dní) vznikajícího radionuklidu  $^{45}\text{Ca}$ .

Vzhledem k tomu, že se aktivace provádí v tepelném sloupci, nepřicházejí prakticky v úvahu interference prvního řádu, způsobené reakcemi



kteřé mohou být vyvolány jen rychlými neutrony.

Interference druhého řádu:



nepřichází rovněž v úvahu, neboť živočišné tkáně neobsahují větší množství křemíku.

V tab. 1 jsou uvedeny váhy vzorků jednotlivých tkání a četnosti impulsů naměřené pro tyto vzorky 14 dní po aktivaci. Předpokládejme, že pro stanovení fosforu je třeba, aby četnost impulsů přesahovala pozadí alespoň o 100 imp/min. Potom pro stanovení fosforu v měkkých tkáních postačí méně než 3 setiny mg suché tkáně, pro stanovení v kosti dokonce méně než 3 tisícin y mg. To je citli-

Tabulka 1  
Naměřené hodnoty

Vzorek	Množství tkáně suché váhy [mg]	Četnost impulsů 14 dní po aktivaci, po odečtení pozadí [imp/min]	Množství tkáně (suché váhy) poskytující po odečtení pozadí 100 imp/min [mg]
játra	2,4	9 723	0,024
sval	2,9	9 991	0,029
ledvina	2,5	9 154	0,027
kost	1,2	45 240	0,0026

vost pro praktické účely více než postačující. Nicméně v případě potřeby by tuto citlivost bylo možno zvýšit prodloužením doby aktivace.

### НЕДЕСТРУКТИВНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОСФОРА У РАЗНОГО РОДА ЖИВОТНЫХ ТКАНЕЙ МЕТОДОМ НЕЙТРОННОГО АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА

М. Ракович, Г. Талпова

Кафедра медицинской физики и ядерной медицины, Факультет общей медицины, Карлов университет, Прага

Фосфор можно определить неdestructивным активационным анализом в разных родах животных тканей. Определение основано на двадцатичасовой активации образца потоком тепловых нейтронов  $1,5 \cdot 10^{12}$  нейтронов  $\cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$  и прямом измерении активности  $\beta$ -излучения счетчиком Гейгер—Мюллера после 14-ти дневного отмирающего периода. При этих условиях меньше чем 0,03 мг мягких тканей (сухого веса) — печень, почка, мьшца и меньше чем 0,003 мг костей дает 100 *имп/мин* (после отсчета фона). Правильность метода была подтверждена на основании хода кривых разложения и абсорбции. Ход кривых разложения является достаточным критерием правильности, потому что здесь не надо считаться с присутствием радионуклидов с подобным временем полураспада, какой имеет радиофосфор  $^{32}\text{P}$ . Также не приходит во внимание интерференция при активации тепловыми нейтронами.

*Preložil M. Fedoroňko*

### NICHTDESTRUKTIVE BESTIMMUNG DES PHOSPHORS IN VERSCHIEDENEN ARTEN ANIMALISCHER GEWEBE DURCH DIE NEUTRONENAKTIVIERUNGSANALYSE

M. Rakovič, H. Talpová

Lehrstuhl für medizinische Physik und Nuclearmedizin,  
Fakultät für allgemeine Medizin, Karlsuniversität, Prag

Phosphor kann man durch die nichtdestruktive Aktivierungsanalyse in verschiedenen Arten animalischer Gewebe bestimmen. Diese Bestimmung gründet sich auf eine 20stündige Bestrahlungsdauer der Proben bei einem Fluß von  $1,5 \cdot 10^{12}$  thermischen Neutronen  $\cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , und auf die direkte Messung der  $\beta$ -Aktivität mit dem Geiger—Müller-Zählrohr nach einer 14tägigen Wartezeit. Unter diesen Bedingungen gewähren weniger als 0,03 mg Weichgewebe (Trockengewicht) — Leber, Niere, Muskel, und weniger als 0,003 mg Knochen 100 *Imp/min* (nach Abziehen des Hintergrunds). Die Richtigkeit dieser Methode wurde auf der Grundlage des Verlaufs der Zerfalls- und Absorptionskurven nachgewiesen. Der Verlauf der Zerfallskurve stellt hier ein ausreichendes Kriterium der Richtigkeit dar, denn die Anwesenheit von Radionucliden mit einer ähnlichen Zerfallshalbwertzeit, wie diese das Radiophosphor  $^{32}\text{P}$  aufweist, kommt nicht in Betracht. Ebenso kommen Interferenzen bei der Aktivierung durch thermische Neutronen nicht in Betracht.

*Preložil K. Ullrich*

## LITERATURA

1. Rakovič M., Talpová H., *Jaderná energie* **10**, 81 (1964).
2. Rakovič M., Langerová I., Talpová H., *Atompraxis* (v tisku).
3. Reiffel L., Stone C. A., *J. Lab. Clin. Med.* **49**, 286 (1957).
4. Beck J. S., Manery T. R., *Science* **137**, 865 (1962).
5. Keynes R. D., Lewis P. R., *Nature* **165**, 809 (1950).
6. Rakovič M., Talpová H., *Sborník referátů z seminára o aktivačnej analýze*, 164. Modra-Piesky 1963.
7. Spicyn V. I., Kodočigov P. N., Golutvina M. M., Kuzina A. F., Sokolova Z. A., *Metody práce s radioaktivními indikátory*, Nakladatelství ČSAV, Praha 1957.

Do redakcie došlo 16. 1. 1964

*Adresa autorů:*

*Inž. Miloslav Rakovič, Helena Talpová, Katedra lékařské fyziky a nukleární medicíny  
FVLUK, Praha 2, Salmovská 3.*