***Praktické využití NMR v medicíně

Existence magnetických momentů jader a základy metody JMR (resp. NMR) se využívá v řadě technických i jiných aplikací. Jednou z nich je i **tomograf** - přístroj, který umožňuje zobrazovat jednotlivé části nitra lidského těla a tím napomáhat lékařům k přesnému určení diagnózy a následné léčby.

Živá tkáň je tvořena komplexním systémem molekul, z nichž většina (hlavně voda) obsahuje atomy vodíku. Všem atomům (a tedy i nejjednoduššímu atomu vůbec - atomu vodíku) lze přiřadit jeho magnetický moment. Při teplotě lidského těla narážejí jednotlivé atomy vzájemně na sebe i na okolní molekuly a způsobují, že se jejich magnetické pole odklání. Navenek se tato magnetická pole navzájem vyruší.

Zařízení na zobrazování vnitřních orgánů lidského těla dominuje obří válcový elektromagnet (viz obr. 159), který vytváří magnetické pole 70000krát silnější, než je magnetické pole Země. Kromě toho tři vložkové magnety o menší výkonnosti obklopují přímo pacientovo tělo. Magnetická pole vytvářená těmito vložkovými magnety se skládají s magnetickým polem hlavního magnetu a vytváří se tak gradient magnetického pole napříč tělem pacienta.

Princip metody popíšeme na příkladu, kdy lékař chce vyšetřit hlavu pacienta.

Každý ze tří vložkových magnetů vytváří gradient magnetického pole podél jedné osy (viz obr. 160). Vinutí *Z* vytváří gradient, který klesá směrem od hlavy k patě pacienta, vinutí *Y* shora dolů a vinutí *X* zleva doprava. Jakákoliv část lidského těla může být tedy lokalizována pomocí těchto tří magnetických souřadnic.

Aby se pořídil obraz určitého řezu lidskou hlavou, je třeba tkáň počítačově rozdělit do mřížky drobných krychliček (tzv. voxelů). Toto rozdělení je znázorněno na obr. 161. Každý voxel je lokalizován pomocí tří magnetických polí z obr. 160 a obsahuje odlišné a proměnné množství vodíkových atomů.

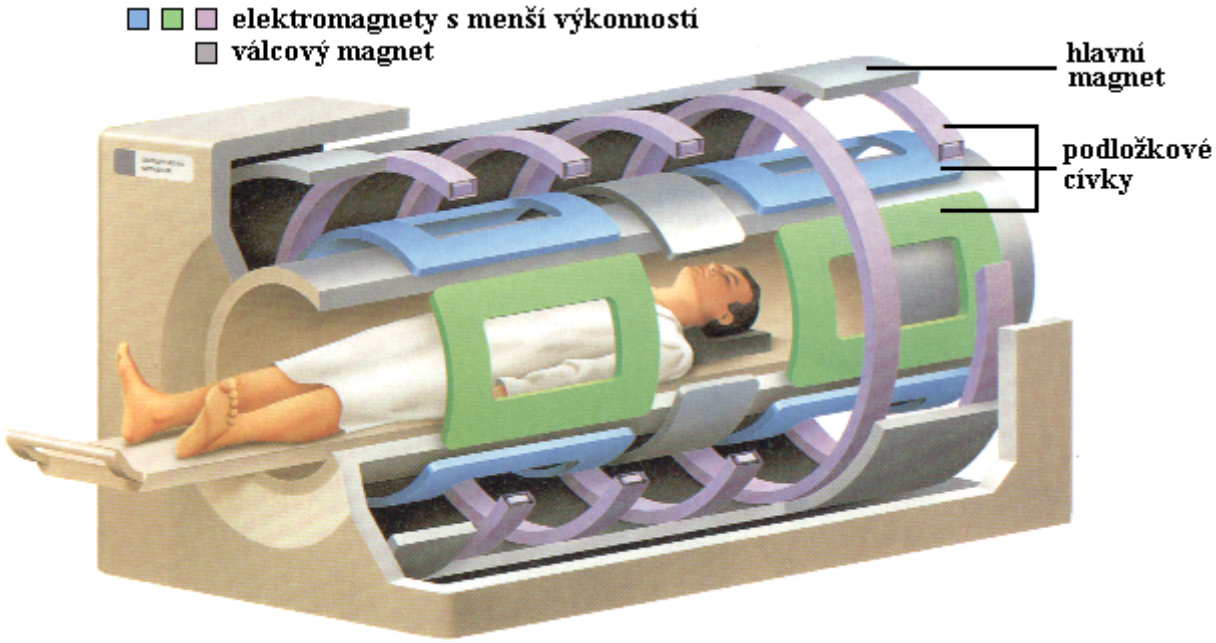
> Každý voxel má tedy svojí magnetickou adresu určenou třemi magnetickými poli.

Před zapnutím hlavního magnetu se vodíkové atomy ve všech voxelech otáčejí, ale jsou uspořádány náhodně (viz obr. 162a).

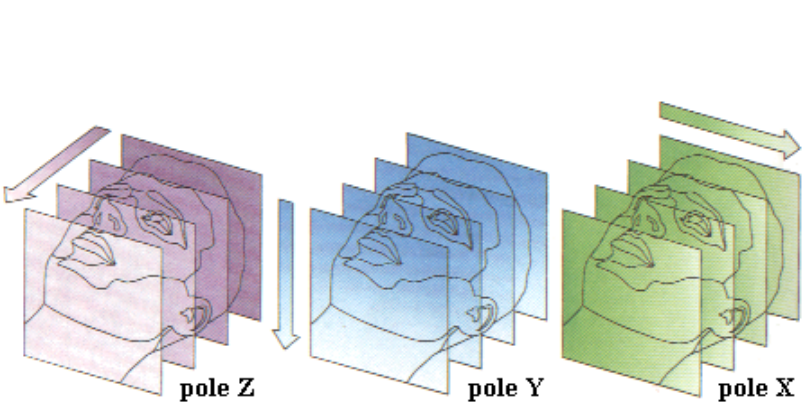
Poznámka: Pro přehlednost je na obr. 162 je zobrazen pouze 1 voxel.

Po zapnutí hlavního magnetu se aktivuje vinutí *Z*, aby se vytvořil gradient pole, který vybere rovinu, kterou je třeba vyšetřit. Vodíkové atomy se tam seřadí podle magnetického pole a kolébají se kolem osy otáčení kolem rovnovážné polohy - konají precesní pohyb (obr. 162b). Frekvence této precese (tj. frekvence, s jakou se atomy kývají) se nazývá Larmorova frekvence a ta závisí na velikosti magnetické indukce daného magnetického pole.

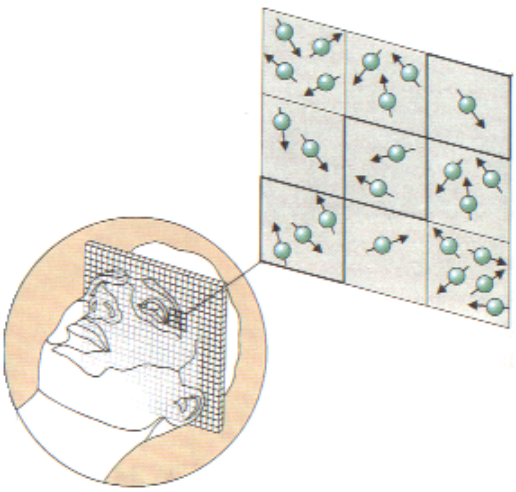
> Precesní pohyb je takový pohyb, při kterém se koncový bod osy (ať už skutečné - např. dětská káča, nebo myšlené - např. u Země) pohybuje po kružnici.



Obr. 159



Obr. 160



Obr. 161

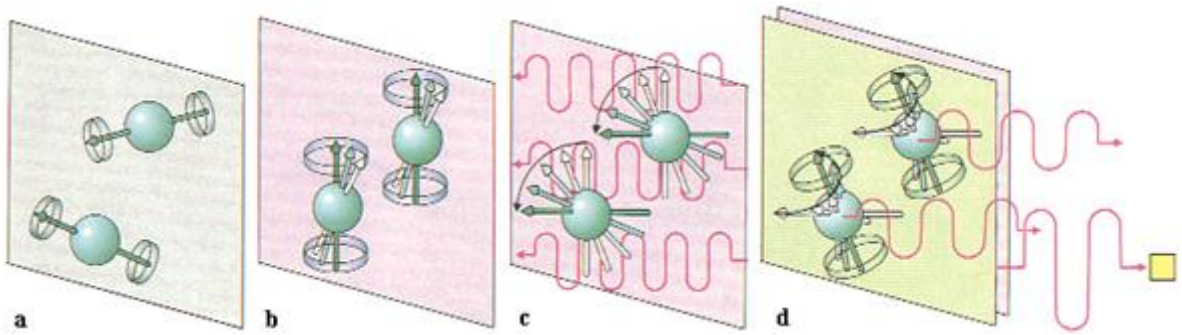
Poté se vyšle impulz rádiových vln naladěných na frekvenci kývání atomů (tj. na Larmorovu frekvenci). Vzhledem k tomu, že obě frekvence jsou identické, kolébající se atom se dostane do rezonance a je na okamžik vychýlen z polohy, kterou zaujal vlivem vnějšího magnetického pole (viz obr. 162c).

Impulz rádiových vln tedy tyto atomy „porazí“.

Jak se atom vrací zpět do své stabilní polohy v magnetickém poli, proton v jeho jádře vysílá rádiový signál o téže frekvenci, jako byl signál, který atom ze stabilní polohy vyvedl.

Atom totiž získal od rádiového záření energii navíc, která se spotřebovala na překlopení atomu. S návratem do původní polohy atom musí tuto získanou energii opět vrátit. Principiálně se jedná o analogii stimulované emise.

Těsně předtím, než se atomy znovu uspořádají v poli do původních poloh, se zapne vinutí *X*. Magnetické pole se změní tak, že velikost magnetické indukce již nebude konstantní, ale její velikost se bude měnit s měnící se polohou v lidském těle. Vznikne tak gradientové magnetické pole.



Obr. 162

Teprve pak se atomy vrací do svých původních rovnovážných poloh a uspořádávají se podle nového gradientového pole. Při tom vysílají rádiový impulz, jehož frekvence závisí na intenzitě nového pole v daném voxelu (obr. 162d). Frekvence se mění proto, že atom se nevrací zpět do své původní stabilní polohy, ale do polohy nové, která je dána právě gradientovým magnetickým polem.

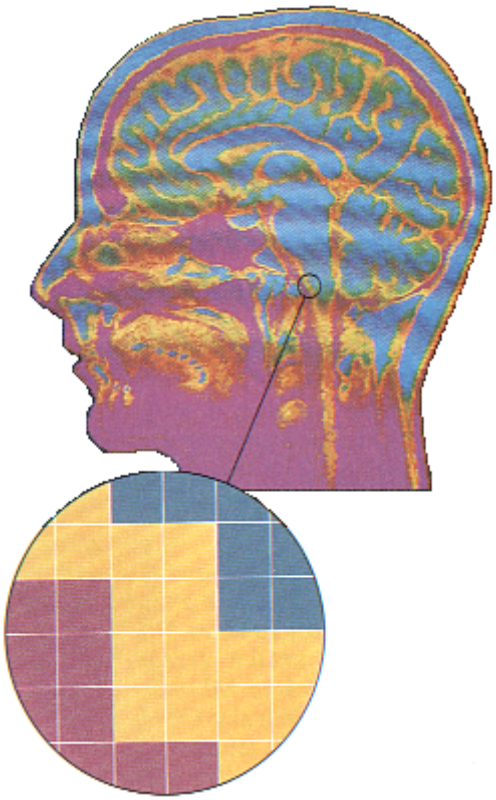
Poloha každého voxelu je tak znázorněna frekvencí záření, které atomy z voxelu vyslaly. Každá frekvence je charakteristická pro určitou intenzitu magnetického pole (resp. pro určitou magnetickou indukci) a pomocí této frekvence pak lze definovat určitou oblast pacientova těla. Počet atomů v každém voxelu (tj. hustota tkáně) je definována amplitudou výsledné rádiové vlny. Velká amplituda znamená velkou hustotu tkáně a naopak.

Analogicky se provádí „mapování“ pomocí vinutí *Y* resp. *Z*. Tak lze záznamem reemitovaných rádiových vln vytvořit dvou nebo trojrozměrný obraz hustoty (vodíkových) atomů. V praxi se toto vyšetření provádí pomocí počítače, který je schopen vytvořit výsledný obraz na monitor (viz obr. 163).

Přidají se falešné barvy (jak je naznačeno na obr. 162d), aby se snadněji rozlišily oblasti různé hustoty atomů. Největší hustota vodíkových atomů je v tělních tekutinách, nižší v měkkých tkáních a nejnižší v chrupavkách a membránách. Kosti se tedy na obraze neobjeví, i když jejich obrysy lze rozeznat z polohy sousedních tkání.

Právě popsaná metoda pomocí NMR poskytuje daleko zřetelnější obraz než rentgen nebo techniky používající záření γ. Tímto způsobem lze lokalizovat drobné nádory a odlišit bílou a šedou kůru mozkovou.

Stejně jako rentgenové snímky, mohou být i záznamy NMR zvýrazněny kontrastními činidly - do vyšetřované oblasti těla se vpraví kontrastní činidlo (roztok obsahující radionuklidy, ...), které změní protony vysílanou frekvenci rádiových vln a zvýrazní tak výsledný obraz.



Obr. 163

Metoda NMR má ale i své nevýhody - pacient musí zůstat během celého vyšetření (tj. asi 30 minut) naprosto bez pohybu.

© Encyklopedie Fyziky (http://fyzika.jreichl.com); Jaroslav Reichl, Martin Všetička
Licence http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/ zakazuje úpravy a komerční distribuci.