

# ZOBRAZOVÁNÍ MAGNETICKOU REZONANCÍ

BY BARNEY



# PROČ TATO PŘEDNÁŠKA? KDO JSEM?

- **BARNEY: LÉKAŘKA (GENETIKA, NEUROCHIRURGIE), T.Č. VĚDECKÝ PRACOVNÍK V CENTRU POKROČILÉHO PREKLINICKÉHO ZOBRAZOVÁNÍ (CAPI)**

## CAPI:

- **VÝZKUMNÉ PRACOVNÍŠTĚ ZAMĚŘENÉ NA MULTIMODÁLNÍ ZOBRAZOVÁNÍ MALÝCH POKUSNÝCH ZVÍŘAT**
- **K DISPOZICI TČ. MRI, MPI, CT/SPECT/PET, OPTICKÉ ZOBRAZOVÁNÍ, V PLÁNU PRŮTOKOVÁ CYTOMETRIE, UZ**
- **T.Č. OTEVŘENÉ VŠEM: CHCETE SE PODÍVAT NA MAŠINKY? MÁTE NĚJAKÝ BIOLOGICKÝ VZOREK, KTERÝ BYSTE SI CHTĚLI NECHAT ZOBRAZIT? PŘIJĎTE!**

# V ČEM JE HÁČEK?

- **MRI – VYSOCE SOFISTIKOVANÁ TECHNIKA, PRINCIP NA ÚROVNI ČÁSTIC, VLIV KVANTOVÉ MECHANIKY**
- **NEEXISTENCE LITERATURY S DOSTATEČNOU MÍROU INFORMATIVNOSTI A BEZ FAKTICKÝCH CHYB PŘI STRAVITELNOSTI PŘIJATELNÉ PRO OSOBY SE ZÁJMEM, ALE BEZ FYZIKÁLNÍHO VZDĚLÁNÍ („BULVÁR“ X ODBORNÁ LITERATURA PSANÁ ODBORNÍKY PRO ODBORNÍKY)**

→ **PROSÍM O SHOVÍVAVOST!**

- **NYNĚJŠÍ PŘEDNÁŠKA – VYSVĚTLENÍ FYZIKÁLNÍHO PRINCIPU S POMOCÍ BĚŽNĚ UŽÍVANÝCH APROXIMACÍ A ZJEDNODUŠENÍ**
- **V PŘÍPADĚ ZÁJMU ČASEM SEPARÉ PŘEDNÁŠKA NA FYZIKÁLNÍ PRINCIPY**

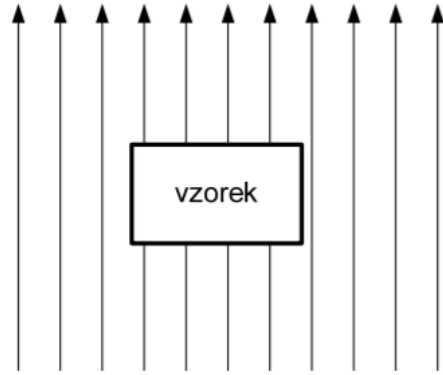
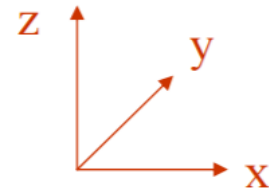
# ZOBRAZOVÁNÍ MAGNETICKOU REZONANCÍ

- **MRI – MAGNETIC RESONANCE IMAGING, MRT – MAGNETIC RESONANCE TOMOGRAPHY**
- **PŮVODNĚ ZKRACOVÁNO JAKO NMR (**
- **NA STEJNÉM PRINCIPU PRACUJE MRS – MAGNETIC RESONANCE SPECTROSCOPY (CHEMICKÁ ANALÝZA)**
- **ZOBRAZOVACÍ METODA S ŠIROKÝM VYUŽITÍM V MEDICÍNĚ I PREKLINICKÉM VÝZKUMU**
- **VÝHODY:**
  - 1. VYSOKÁ ROZLIŠOVACÍ SCHOPNOST I VE VELKÝCH KLOUBKÁCH (X UZ)**
  - 2. MOŽNOST TVORBY ŘEZŮ TKÁNÍ V JAKÉKOLI ROVINĚ (X RTG, CT)**
  - 3. BEZ POUŽITÍ IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ**
  - 4. MOŽNOST FUNKČNÍHO ZOBRAZOVÁNÍ = DYNAMICKÉHO ZOBRAZENÍ PROCESŮ PROBÍHAJÍCÍCH V ZOBRAZOVANÉ TKÁNÍ V ČASE A PROSTORU**

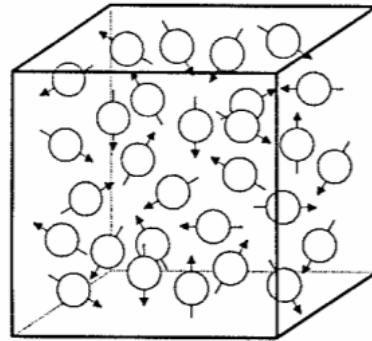
# ZOBRAZOVÁNÍ MAGNETICKOU REZONANCÍ

- **VYUŽITÍ KVANTOVÉ VLASTNOSTI ELEMENTÁRNÍCH ČÁSTIC – SPINU**
- **SPIN – LZE PŘIPODOBNI K ROTACI ČÁSTICE KOLEM VLASTNÍ OSY (X KONSTANTNÍ, NELZE ZASTAVIT)**
- **ROTUJÍCÍ ČÁSTICE, KTERÉ NESOU ELEKTRICKÝ NÁBOJ, KOLEM SEBE GENERUJÍ MAGNETICKÉ POLE**
- **MAGNETICKÁ POLE VZÁJEMNĚ INTERAGUJÍ – ČÁSTICE UMÍSTĚNÉ VE VNĚJŠÍM MAGNETICKÉM POLI SE CHOVÁJÍ JAKO MALÉ MAGNETKY, JEJICH MAGNETICKÉ MOMENTY MAJÍ TENDENCI SE ZAROVNAT PODLE SMĚRU SILOČAR TOHOTO POLE A DOSTAT SE TAK DO STAVU S NEJNIŽŠÍ ENERGIÍ → VZOREK SE MAGNETIZUJE**

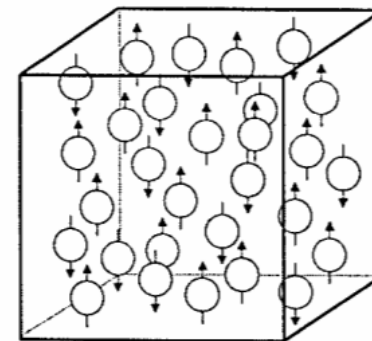
Stacionární homogenní pole



$$B_0 = 0 \quad M = 0$$



$$B_0 > 0 \quad M = \sum \mu$$

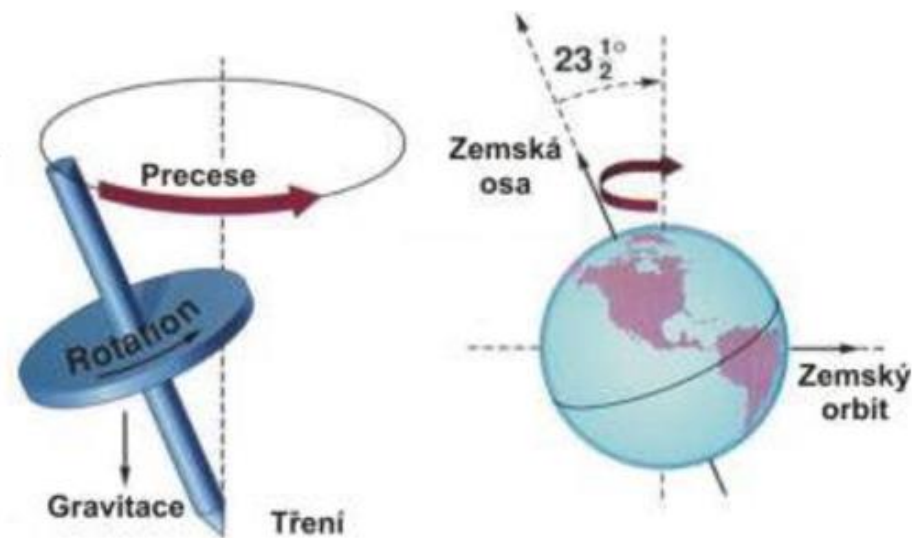
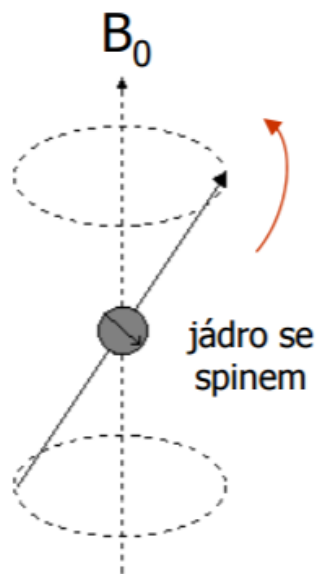


# ZOBRAZOVÁNÍ MAGNETICKOU REZONANCÍ



# PRECESE

- **PRINCIP JEVU MAGNETICKÉ REZONANCE**
- **ROTACE A NAKLÁNĚNÍ OSY SPINU OKOLO SILOČAR VNĚJŠÍHO MAGNETICKÉHO POLE V JEHO PŘÍTOMNOSTI**  
→ **POHYB OSY SPINU PO PLÁŠTI POMYSLNÉHO (DVOJ)KUŽELE**
- **PODOBNOST – PRECESE ZEMSKÉ OSY, PRECESE TOČÍCÍ SE KÁČI**
- **ODLIŠNOST – FREKVENCE PRECESE OSY SPINU JE KONSTANTNÍ A PŘÍMO ÚMĚRNÁ INTENZITĚ VNĚJŠÍHO MAGNETICKÉHO POLE, TZV. LARMOROVA FREKVENCE**



Obr. 2-35: Schema precese zemské osy.

# PRECESE





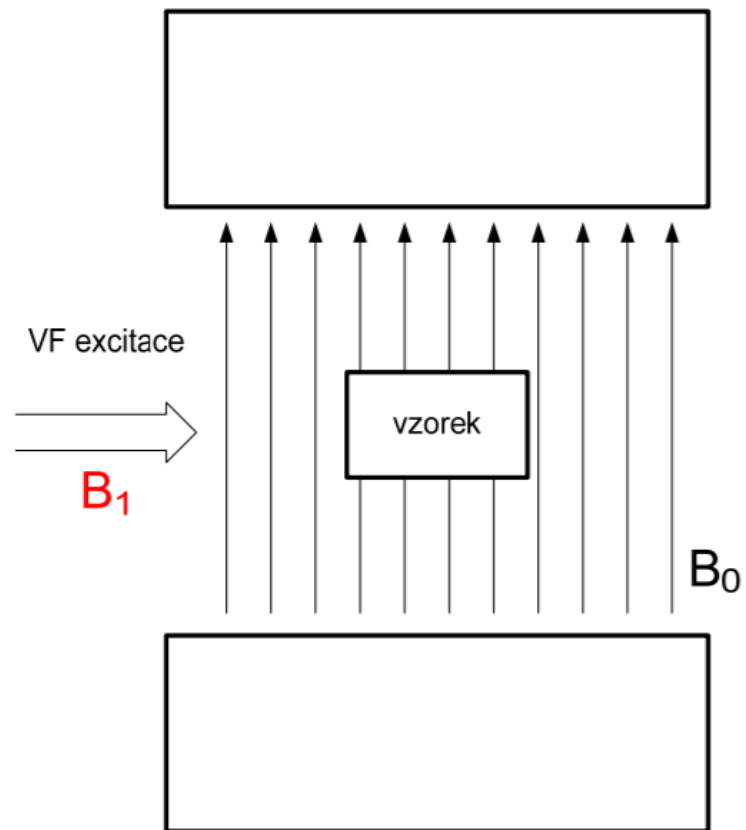
# PRINCIP MR EXPERIMENTU

- **PŘI PŮSOBENÍ POUZE STACIONÁRNÍHO MAGNETICKÉHO POLE JE SYSTÉM ZMAGNETIZOVÁN, V ROVNOVÁZE → NIC SE NEDĚJE**
- **DODÁNÍ ENERGIE RF PULZEM → SNÍMÁNÍ SIGNÁLU**
- **RF PULZ:**
  - **VYSLANÝ CÍVKOU OBKLOPUJÍCÍ VZOREK**
  - **OSCILUJÍCÍ S LARMOROVOU FREKVENCÍ (= JE „V REZONANCI“ S PRECESÍ OS SPINŮ MĚŘENÝCH PROTONŮ)**
  - **GENERUJE OSCILUJÍCÍ, ROTUJÍCÍ MAGNETICKÉ POLE B1 KOLMÉ NA STACIONÁRNÍ MAGNETICKÉ POLE B0**

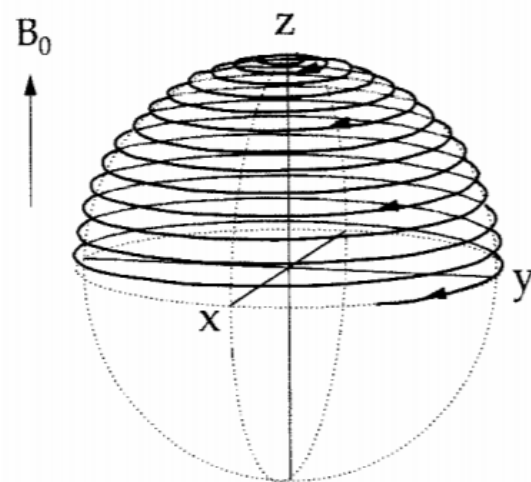
# PRINCIP MR EXPERIMENTU

- **EXCITACE VF PULZEM S LARMOROVOU FREKVENCÍ → NATOČENÍ (SKLOPENÍ) VEKTORU MAGNETIZACE O ÚHEL  $\phi$**
- **PRINCIP EFEKTIVITY LARMOROVY FREKVENCE PODOBNÝ HOUPÁNÍ DĚCKA NA HOUPAČCE**
- **PODLE VELIKOSTI ÚHLU SKLOPENÍ OZNAČUJEME PULZY JAKO  $\pi$ -PULZ,  $\pi/2$ -PULZ ATD.**
- **MÍRA NAKLOPENÍ JE URČENA PŘEDANOU ENERGIÍ (AMPLITUDA + DÉLKA TRVÁNÍ PULZU)**

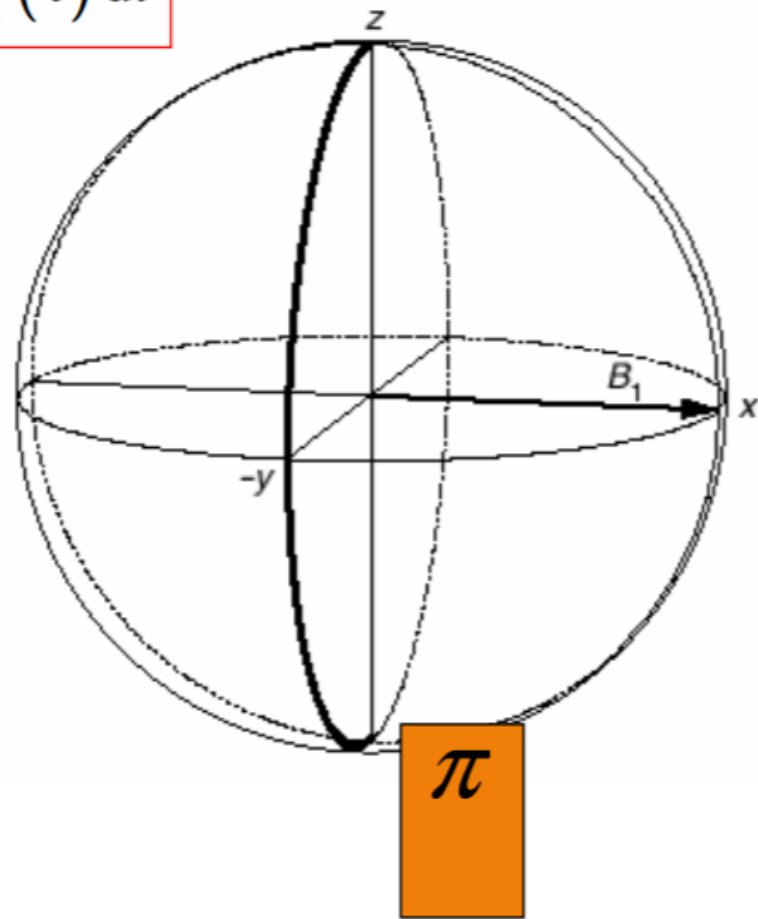
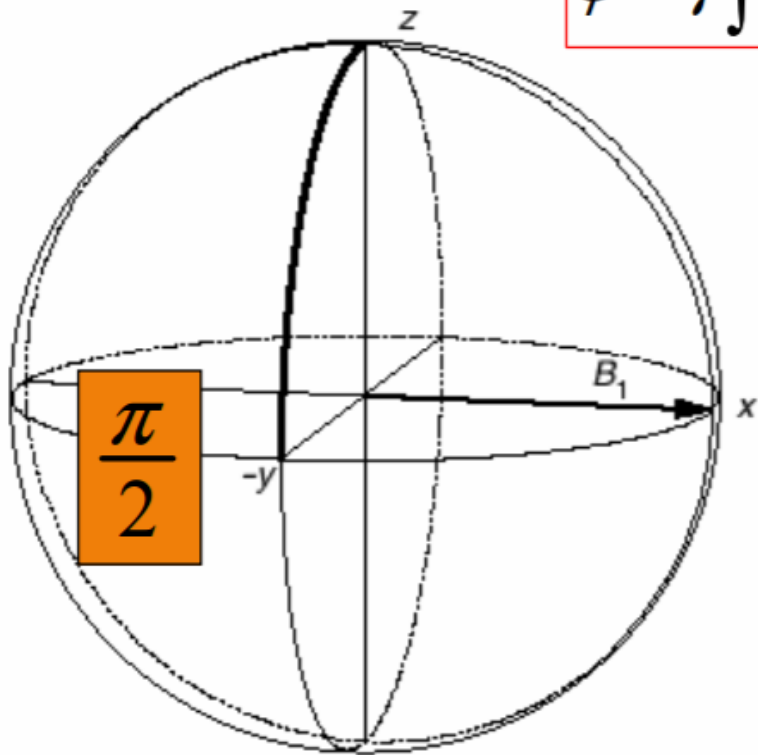
## Excitace vf pulzem



Sklopení vektoru magnetizace  
do tranzverzální roviny



$$\varphi = \gamma \int B_1(t) dt$$



# RŮZNÉ TYPY ZOBRAZENÍ

- **LABORATORNÍ X ROTUJÍCÍ REFERENČNÍ RÁMEC – VÝZNAM PRO SNAŽŠÍ GRAFICKÉ ZOBRAZENÍ A MATEMATICKÉ VÝPOČTY**

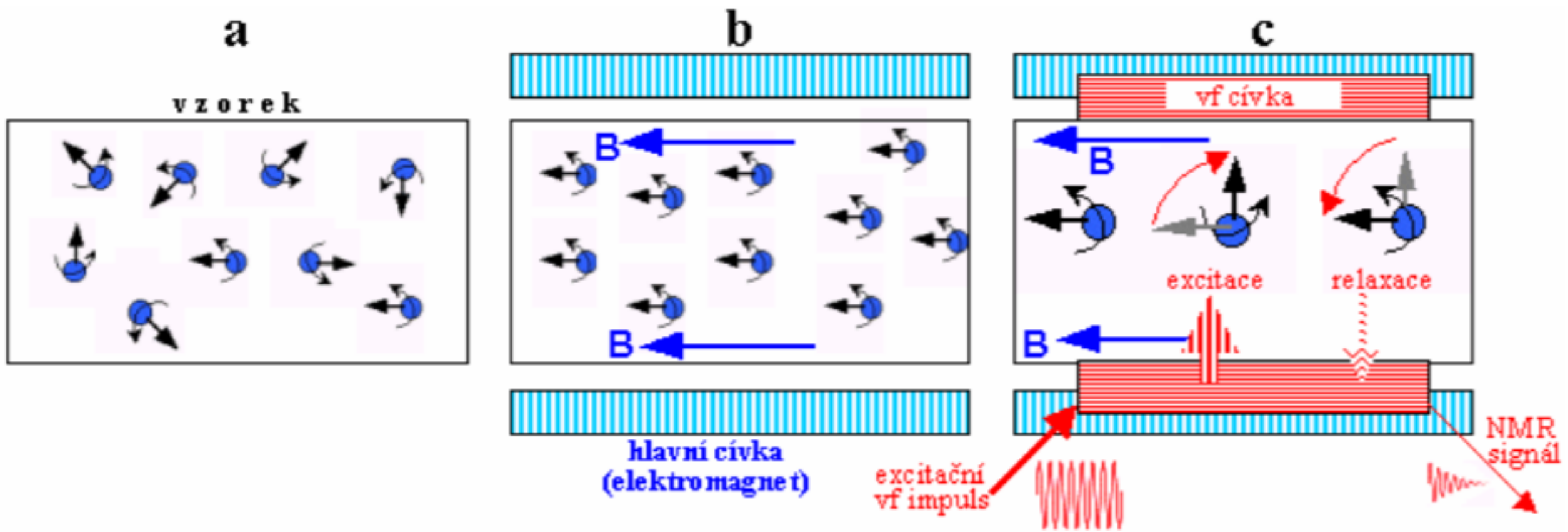
# PRINCIP MR EXPERIMENTU

• **APLIKACE RF PULZU S LARMOROVOU FREKVENCÍ → SOUČASNĚ 2 JEVY:**

**1) SKLOPENÍ OS SPINŮ VE VZORKU DO PŘÍČNÉ ROVINY (= TRANSVERZÁLNÍ, OSA XY)**

**2) SFÁZOVÁNÍ PRECESÍ JEDNOTLIVÝCH PROTONŮ**

**→ VEKTOR CELKOVÉ MAGNETIZACE (SUMA MAGNETIZACE JEDNOTLIVÝCH PROTONŮ VE VZORKU)**  
**SYNCHRONNĚ PRECEDUJE V PŘÍČNÉ ROVINĚ**



# PRINCIP MR EXPERIMENTU

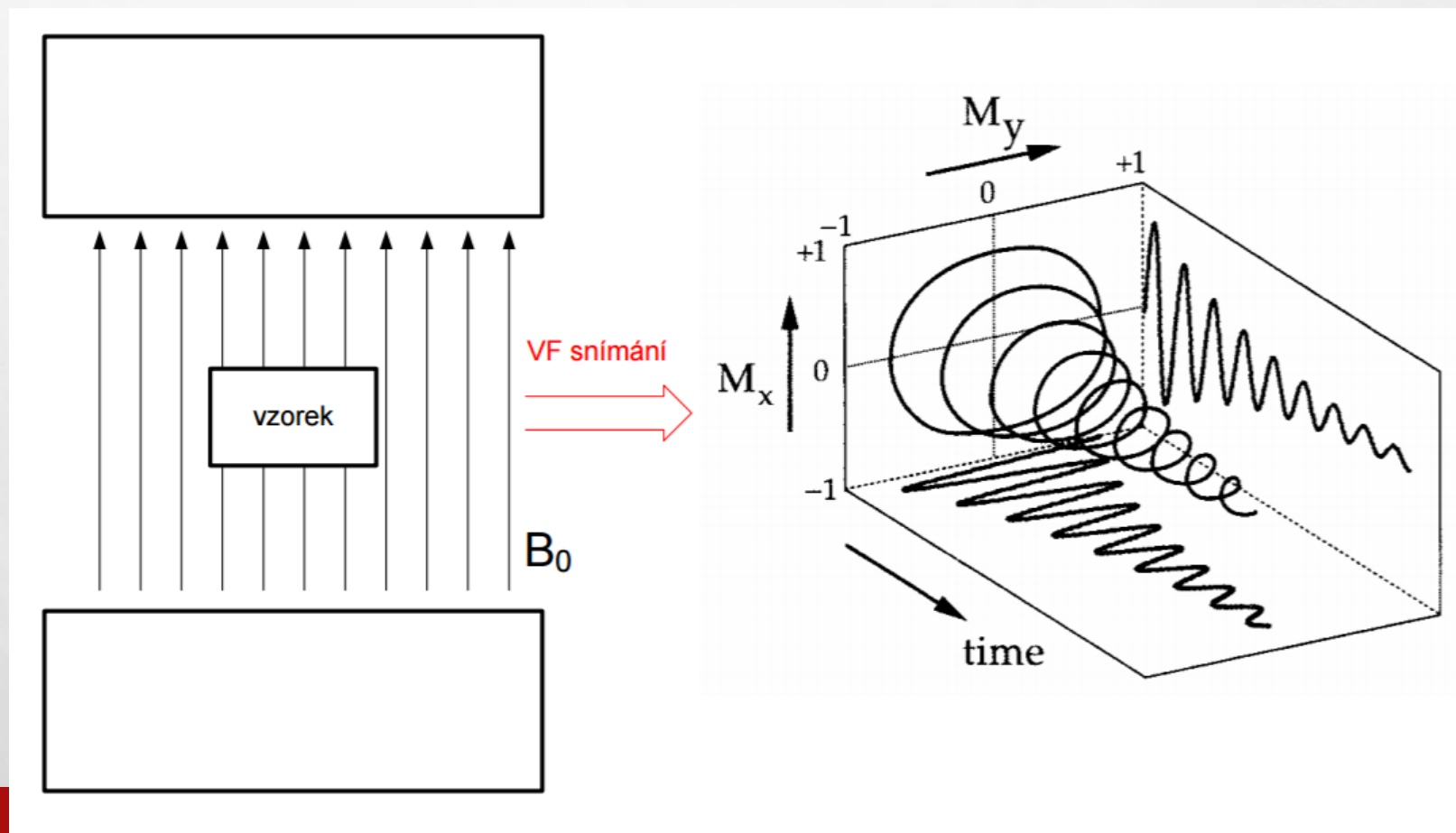


# PRINCIP MR EXPERIMENTU - SNÍMÁNÍ SIGNÁLU

- **UKONČENÍ APLIKACE RF PULZU CÍVKAMI OBKLOPUJÍCÍMI VZOREK → CÍVKY PŘEPNUTY NA SNÍMACÍ MÓD**
- **VEKTOR MAGNETIZACE SYNCHRONNĚ PRECEDUJE V PŘÍČNÉ ROVINĚ (XY) → INDUKCE NAPĚTÍ V CÍVKÁCH**



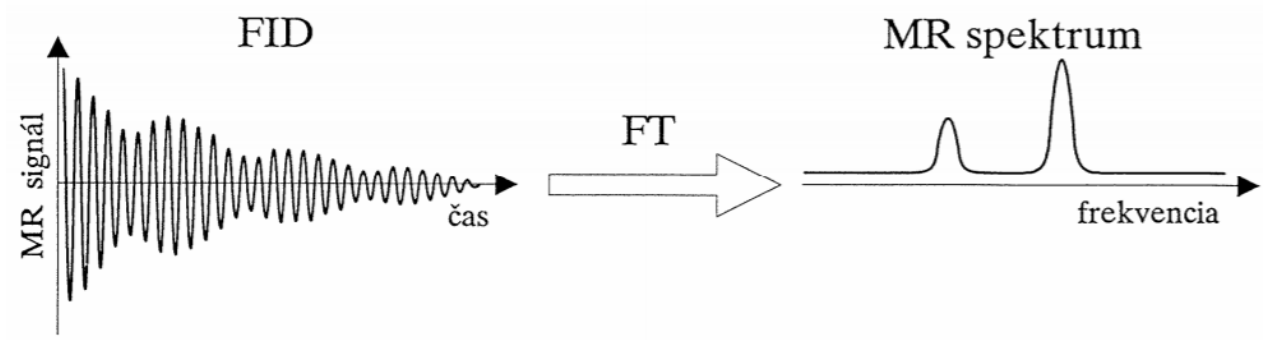
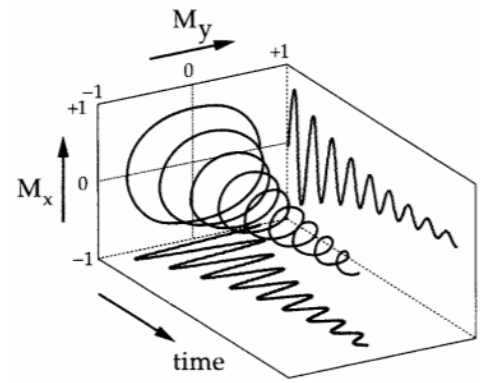
# PRINCIP MR EXPERIMENTU - SNÍMÁNÍ SIGNÁLU



# PRINCIP MR EXPERIMENTU - SNÍMÁNÍ SIGNÁLU

- **OSCILUJÍCÍ NAPĚTÍ GENEROVANÉ V CÍVCE → SIGNÁL FID (FREE INDUCTION DECAY)**
- **V REALITĚ JE SIGNÁL FID OBTÍŽNĚ TECHNICKY MĚŘITELNÝ (VLASTNOSTI CÍVEK + EXISTENCE RELAXACE  $T_2^*$  - VIZ DÁLE) → NĚKOLIK RŮZNÝCH POSTUPŮ NA GENEROVÁNÍ JEHO OZVĚNY (ECHO)**
- **MATEMATICKÁ ANALÝZA SIGNÁLU → VÝSLEDNÝ OBRAZ (1D, 2D, 3D)**

# PRINCIP MR EXPERIMENTU - SNÍMÁNÍ SIGNÁLU



# CHARAKTERISTIKA MR SIGNÁLU

## VLASTNOSTI SIGNÁLU:

- **AMPLITUDA, STRMOST POKLESU A DÉLKA TRVÁNÍ SIGNÁLU**
- **JSOU NA SOBĚ NEZÁVISLÉ**
- **JSOU ZÁVISLÉ NA FYZIKÁLNĚ-CHEMICKÝCH PARAMETRECH VYŠETŘOVANÉHO VZORKU:**
  - 1) INICIÁLNÍ AMPLITUDA JE DÁNA VELIKOSTÍ MAGNETIZACE = HUSTOTOU PROTONŮ VE VYŠETŘOVANÉM OBJEMU**
  - 2) STRMOST POKLESU JE DÁNA RYCHLOSTÍ ROZFÁZOVÁNÍ JEDNOTLIVÝCH SPINŮ (VIZ DÁLE)**
  - 3) DÉLKA TRVÁNÍ SIGNÁLU JE DÁNA RYCHLOSTÍ PŘEDÁNÍ ZÍSKANÉ ENERGIE DO OKOLÍ VE FORMĚ TEPLA (VIZ DÁLE)**

# RELAXACE

- **NÁVRAT DO PŮVODNÍHO STAVU (PŘED APLIKACÍ RF PULZU)**
- **T1-RELAXACE (SPIN-MŘÍŽKA) = OBNOVENÍ PŮVODNÍ ORIENTACE MAGNETIZACE VE SMĚRU STACIONÁRNÍHO POLE  $B_0$**
- **T2-RELAXACE (SPIN-SPIN) = ZÁNİK VZNIKLÉ PŘÍČNÉ MAGNETIZACE**
- **PODLE NASTAVENÍ PARAMETRŮ MĚŘENÍ MŮŽEME VZOREK ZOBRAZIT S OHLEDEM NA JEDNU NEBO DRUHOU HODNOTU RELAXACE JEHO SLOŽEK (= T1 A T2 VÁŽENÍ)**

# T1-RELAXACE

- **PODÉLNÁ, SPIN-MŘÍŽKOVÁ = ENERGIE ZÍSKANÁ PŘI EXCITACI JE PŘEDÁNA DO OKOLÍ PROTONŮ („MŘÍŽKY“) → OSA SPINU SE VRACÍ DO PŮVODNÍ ORIENTACE VE SMĚRU B0**
- **RYCHLOST RELAXACE JE URČENA CHARAKTEREM OSTATNÍCH ČÁSTIC A VAZEB V OKOLÍ DANÉHO PROTONU – U RŮZNÝCH TKÁNÍ RŮZNÁ**
- **NENÍ MĚRITELNÁ PŘÍMO (MAGNETIZACI VE SMĚRU B0 NELZE MĚŘIT) → ZJIŠTĚNÍ HODNOTY T1 POMOCÍ OPAKOVANÝCH PULZŮ**

# T2-RELAXACE

- **PŘÍČNÁ, SPIN-SPINOVÁ = POSTUPNÉ ROZFÁZOVÁNÍ PRECEDUJÍCÍCH SPINŮ V PŘÍČNÉ ROVINĚ (XY) → ZÁNİK PŘÍČNÉ MAGNETIZACE (= SNÍŽENÍ AMPLITUDY SNÍMANÉHO SIGNÁLU)**
- **2 PODSLOŽKY:**
  - a) VLASTNÍ RELAXACE T2: ROZFÁZOVÁNÍ PRECESE JEDNOTLIVÝCH SPINŮ NA ZÁKLADĚ JEJICH VZÁJEMNÝCH INTERAKCÍ, OVLIVŇOVÁNÍ VLASTNÍMI MAGNETICKÝMI POLI – PARAMETR LIŠÍCÍ SE TKÁŇ OD TKÁNĚ, CHCEME MĚŘIT**
  - b) RELAXACE T2\*: ROZFÁZOVÁNÍ VLIVEM LOKÁLNÍCH NEHOMOGENIT MAGNETICKÉHO POLE (→ ZMĚNA LARMOROVY FREKVENCE) - VŽDY, NEŽÁDOUCÍ!**

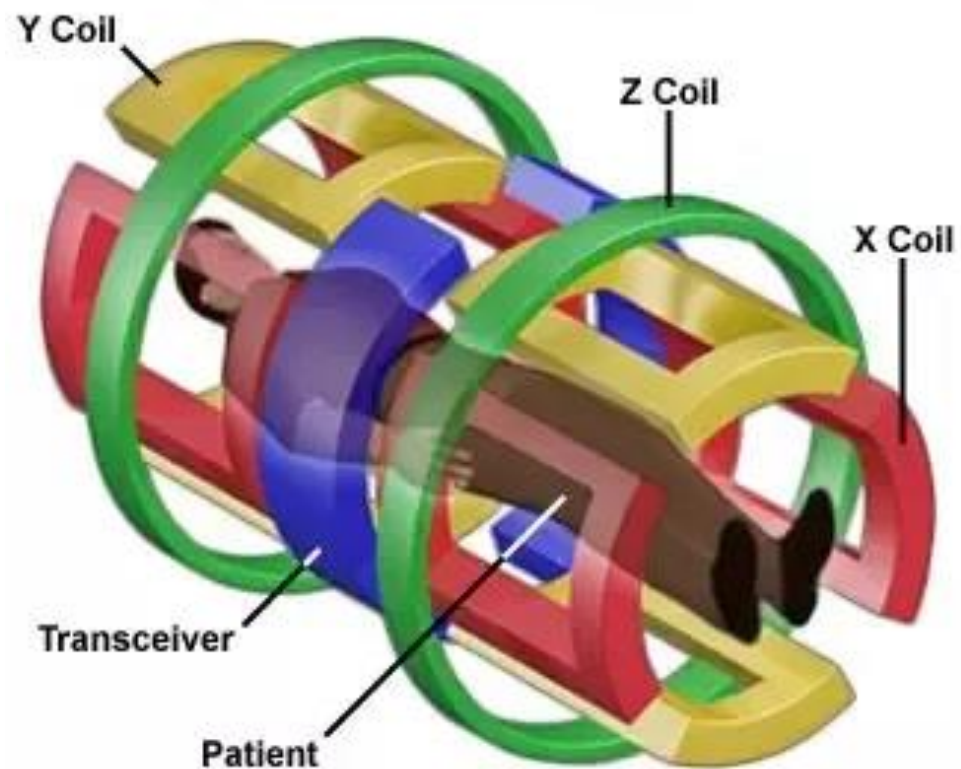
**[HTTP://WWW.STARTRADIOLOGY.COM/THE-BASICS/MRI-TECHNIQUE/](http://www.startradiology.com/the-basics/mri-technique/)**

# TVORBA OBRAZU

- PRO ZOBRAZOVÁNÍ SE NAVÍC K POLI  $B_0$  PŘIDÁ GRADIENT MAGNETICKÉHO POLE V JEDNOM, PŘÍPADNĚ VÍCE SMĚRECH  $\Rightarrow$  LARMOROVA REZONANČNÍ FREKVENCE JE RŮZNÁ V RŮZNÝCH ŘEZECH
- TYPICKY SE RŮZNÉ GRADIENTY PŘIKLÁDAJÍ V RŮZNÝCH ČASECH



MRI Scanner Gradient Magnets



# GRADIENTY MAGNETICKÉHO POLE

# GRADIENTY MAGNETICKÉHO POLE

- **PRVNÍ GRADIENT**

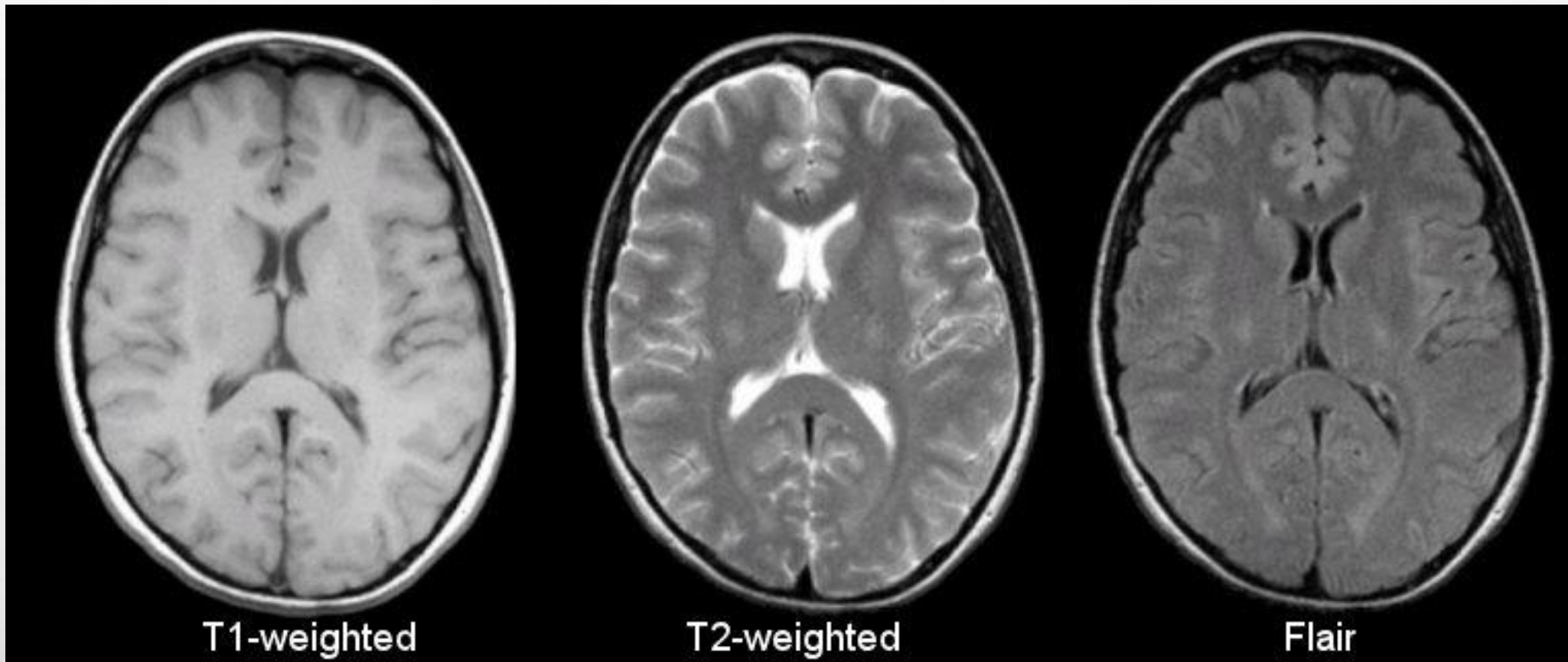
- **APLIKUJE SE SOUČASNĚ S EXCITAČNÍM RF PULZEM ⇒ VÝBĚR ŘEZU („SLICE-SELECTING GRADIENT“)**
- **RF PULZ EXCITUJE POUZE TY PROTONY, JEJICHŽ LARMOROVA FREKVENCE DANÁ CELKOVÝM PŮSOBENÍM MAGNETICKÉHO POLE JE ROVNA FREKVENCI APLIKOVANÉHO PULZU, OSTATNÍ ZŮSTÁVAJÍ V KLIDOVÉM STAVU**

# GRADIENTY MAGNETICKÉHO POLE

- **DRUHÝ GRADIENT**
- **NÁSLEDNÉ PŮSOBENÍ DALŠÍHO GRADIENTU (KOLMÉHO NA PŮVODNÍ) NA VYBRANÝ ŘEZ  $\Rightarrow$  PROTONY, NA KTERÉ PŮSOBÍ SILNĚJŠÍ MAGNETICKÉ POLE, ZVÝŠÍ SVOU LARMOROVU FREKVENCÍ, A PRECEDUJÍ TAK RYCHLEJI („PHASE-ENCODING GRADIENT“)**
- **PO UKONČENÍ APLIKACE GRADIENTU SE LARMOROVA FREKVENCE OPĚT SNÍŽÍ NA VÝCHOZÍ HODNOTU, ALE FÁZE PRECESE PROTONŮ JIŽ ZŮSTANE POSUNUTA**

# GRADIENTY MAGNETICKÉHO POLE

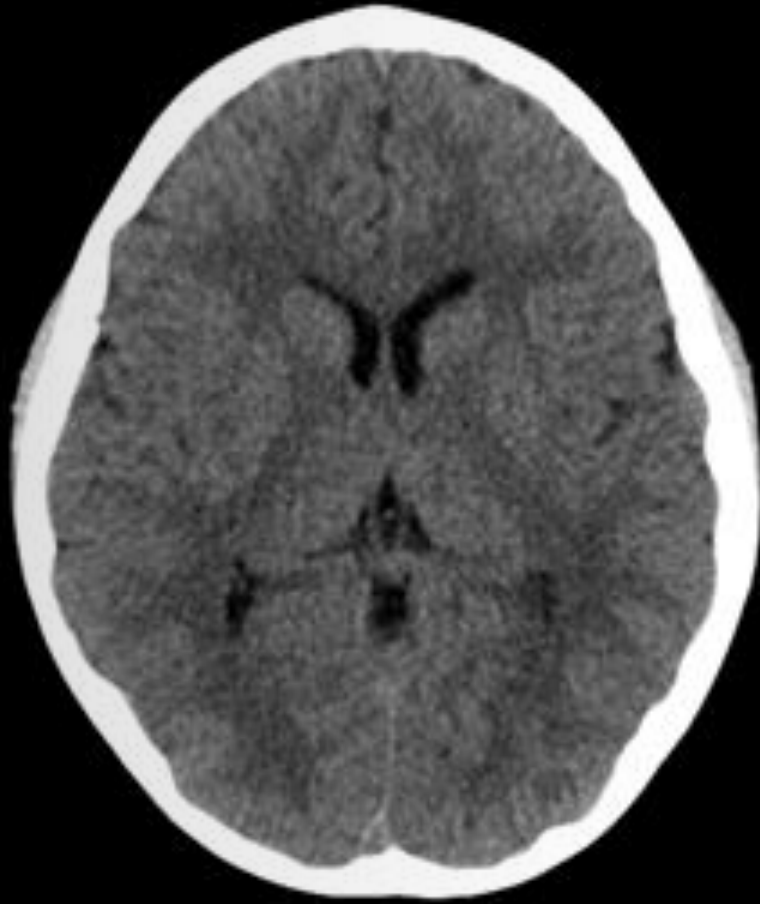
- **TŘETÍ GRADIENT**
- JE APLIKOVÁN KOLMO NA OBA PŘEDCHOZÍ GRADIENTY
- AKTIVNÍ BĚHEM SNÍMÁNÍ SIGNÁLU („READOUT GRADIENT“)
- POSTUPNÉ ZVYŠOVÁNÍ FREKVENCE PRECESE NAPŘÍČ VZORKEM („FREQUENCY ENCODING GRADIENT“)



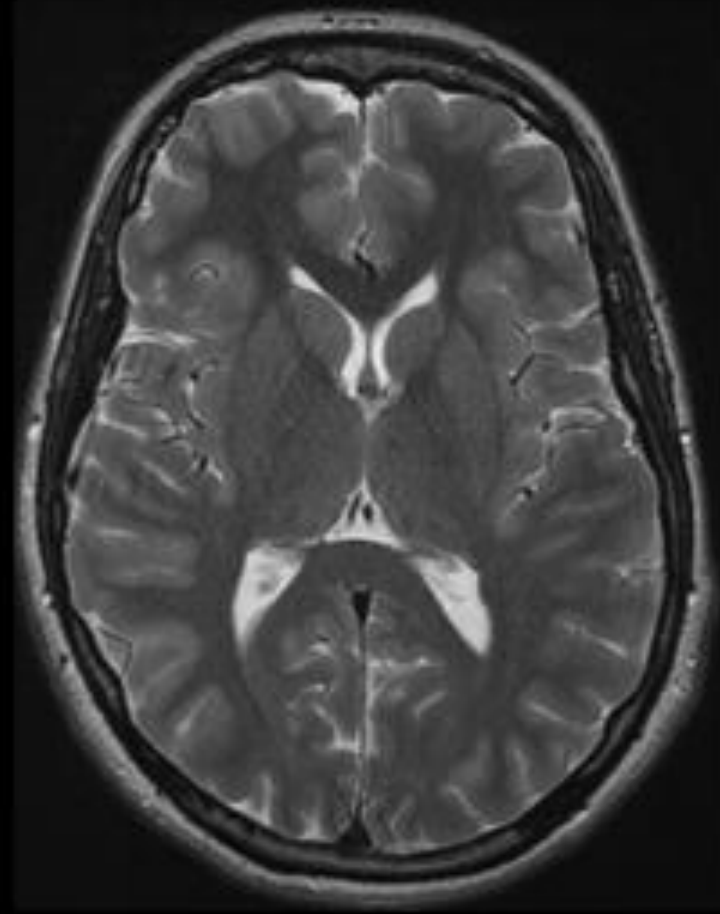
**... A VÝSLEDEK?**

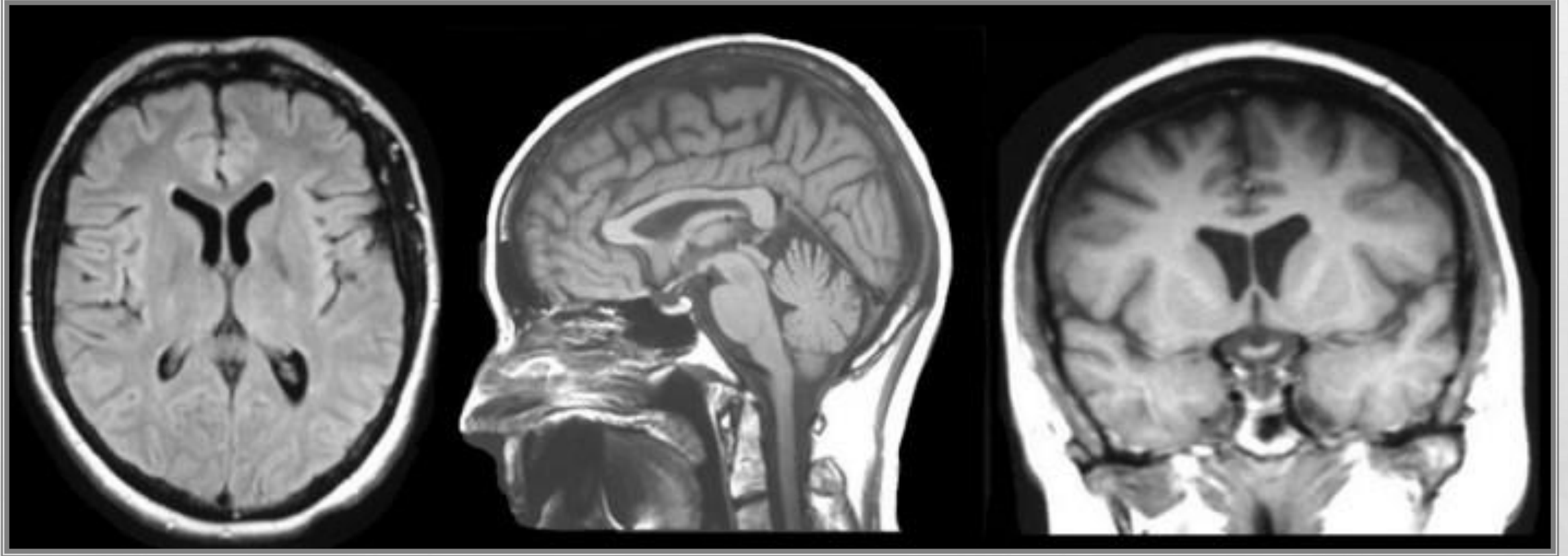


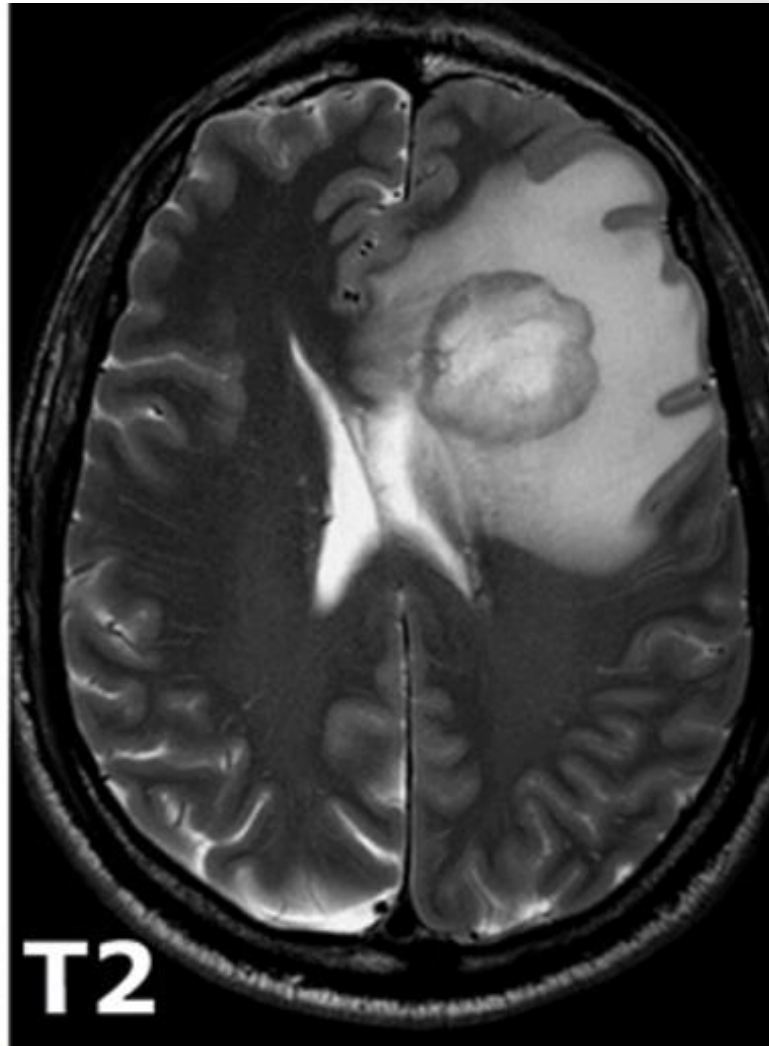
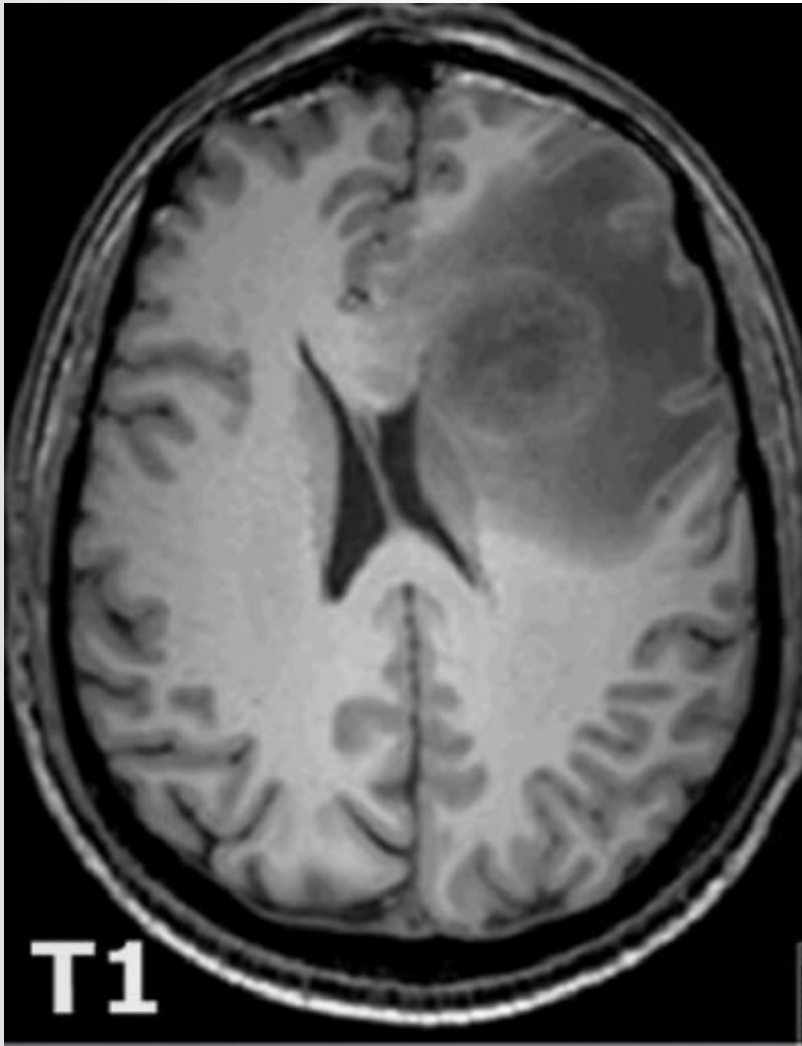
CT



MRI







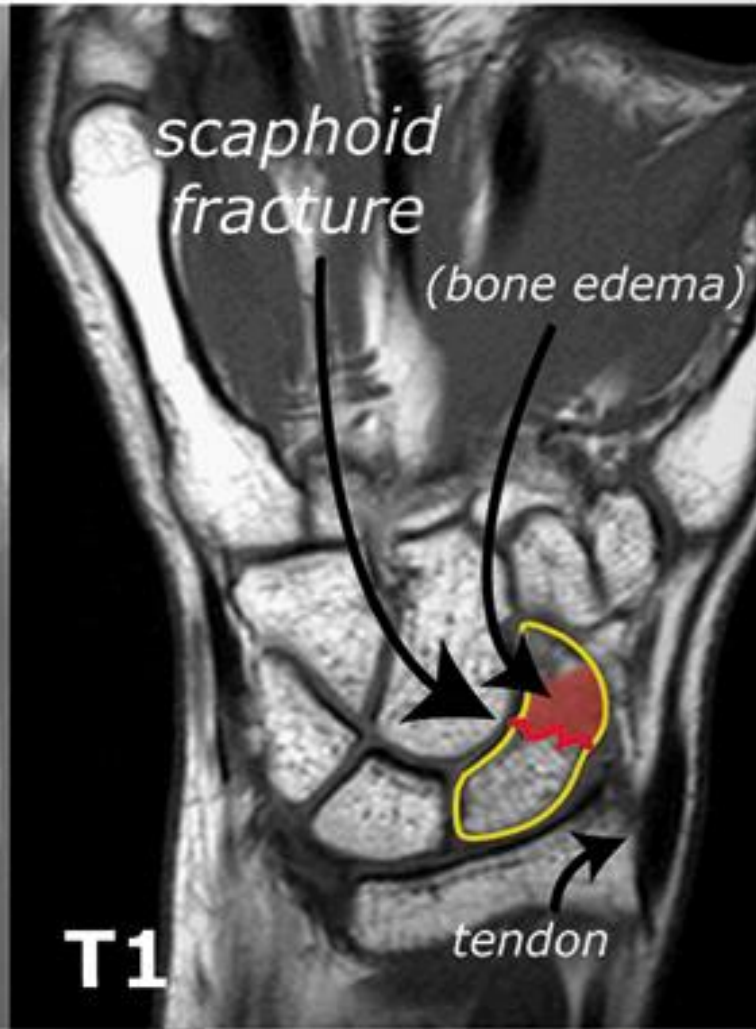


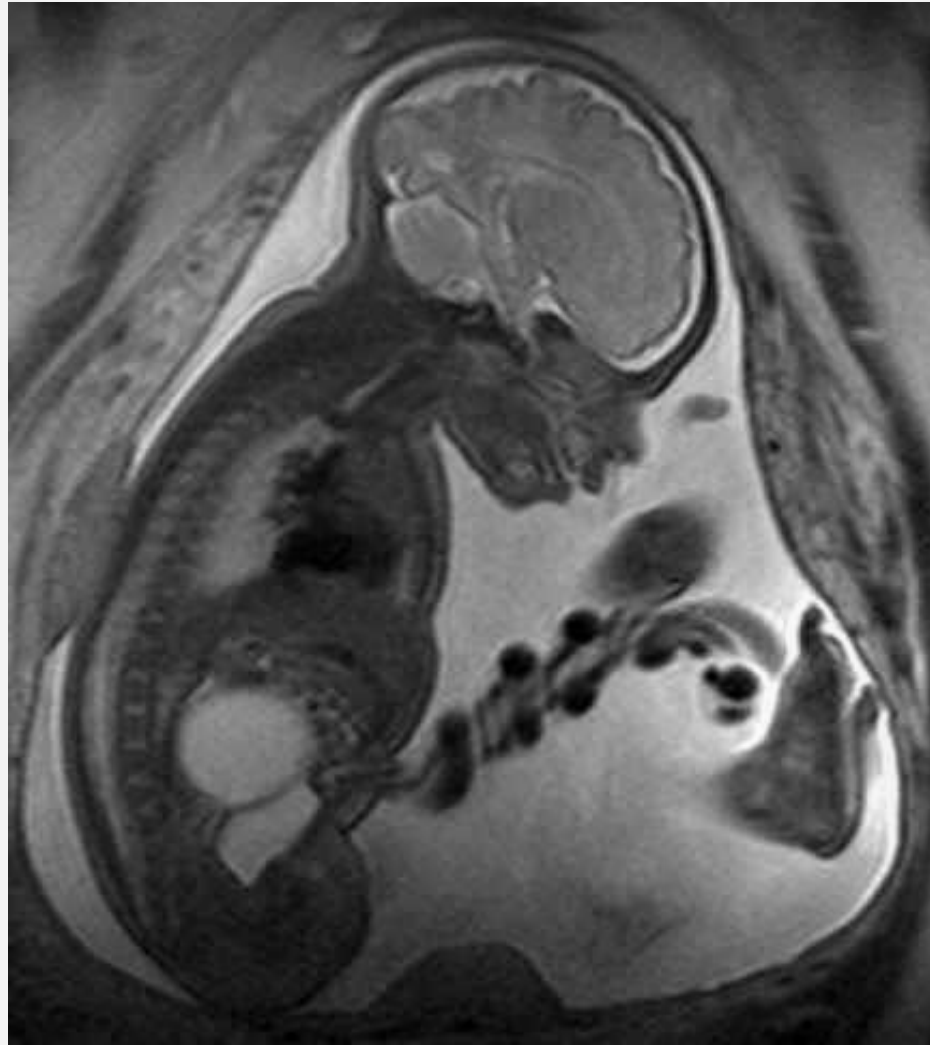


Disc Bulge





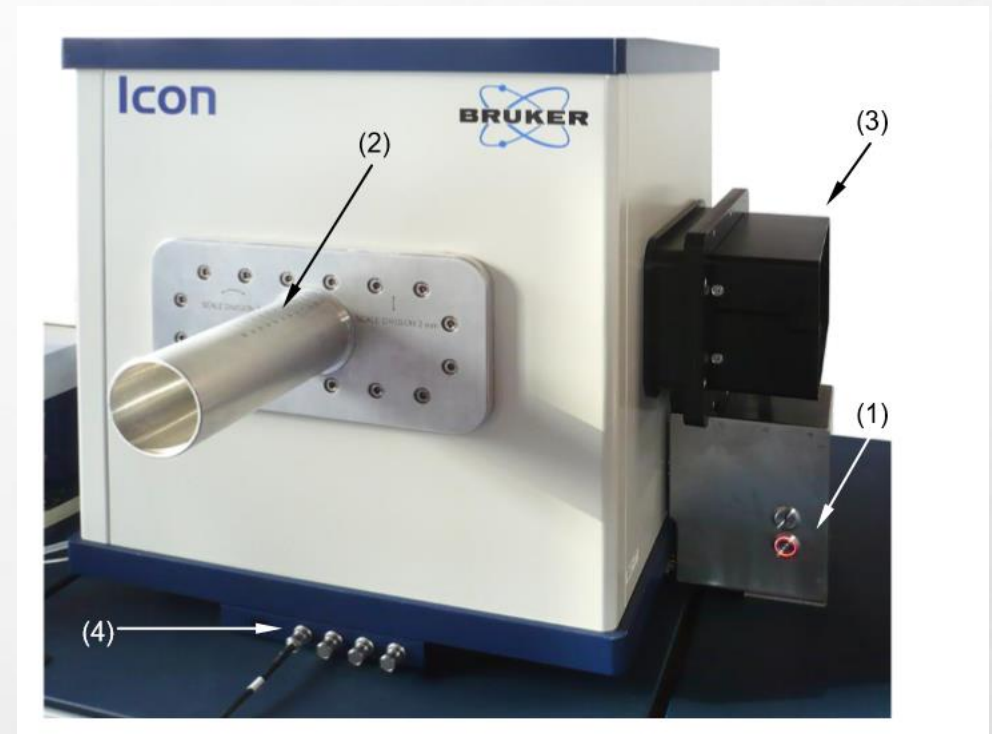






# ... A CAPI?

- **PREKLINICKÝ MRI SYSTÉM ICON – VÝROBCE BRUKER**
- **PERMANENTNÍ MAGNET 1 TESLA**
- **VÝHODY: CHLAZENÍ VZDUCEM, NÍZKÁ SPOTŘEBA, MALÁ HMOTNOST A PLOCHA, NÍZKÉ NÁKLADY NA PROVOZ**



# MRI V CAPI

- **IN VIVO ZOBRAZOVÁNÍ MALÝCH LABORATORNÍCH ZVÍŘAT (MYŠI A POTKANI)**
- **T.Č. STUDIE S NÁDOROVÝMI MYŠMI A APLIKACE RŮZNÝCH FARMAK A KONTRASTNÍCH LÁTEK**
- **LONGITUDINÁLNÍ STUDIE = STUDIE BĚŽÍCÍ V ČASE – ZVÍŘATA BĚHEM VYŠETŘENÍ USPÁNA IZOFLURANEM**
- **TECHNICKY LZE ZOBRAZIT VŠE, CO SE VEJDE DO CÍVKY A OBSAHUJE TUK ČI VODU (OVOCE, ZELENINA, VÁNOČNÍ CUKROVÍ...)**



# PŘIJĎTE SE PODÍVAT!

- **DĚKUJI ZA POZORNOST**
- **ZA PSYCHICKOU, FYZICKOU, FYZIKÁLNÍ I CHEMICKOU PODPORU DĚKUJI PINKYMU 😊**