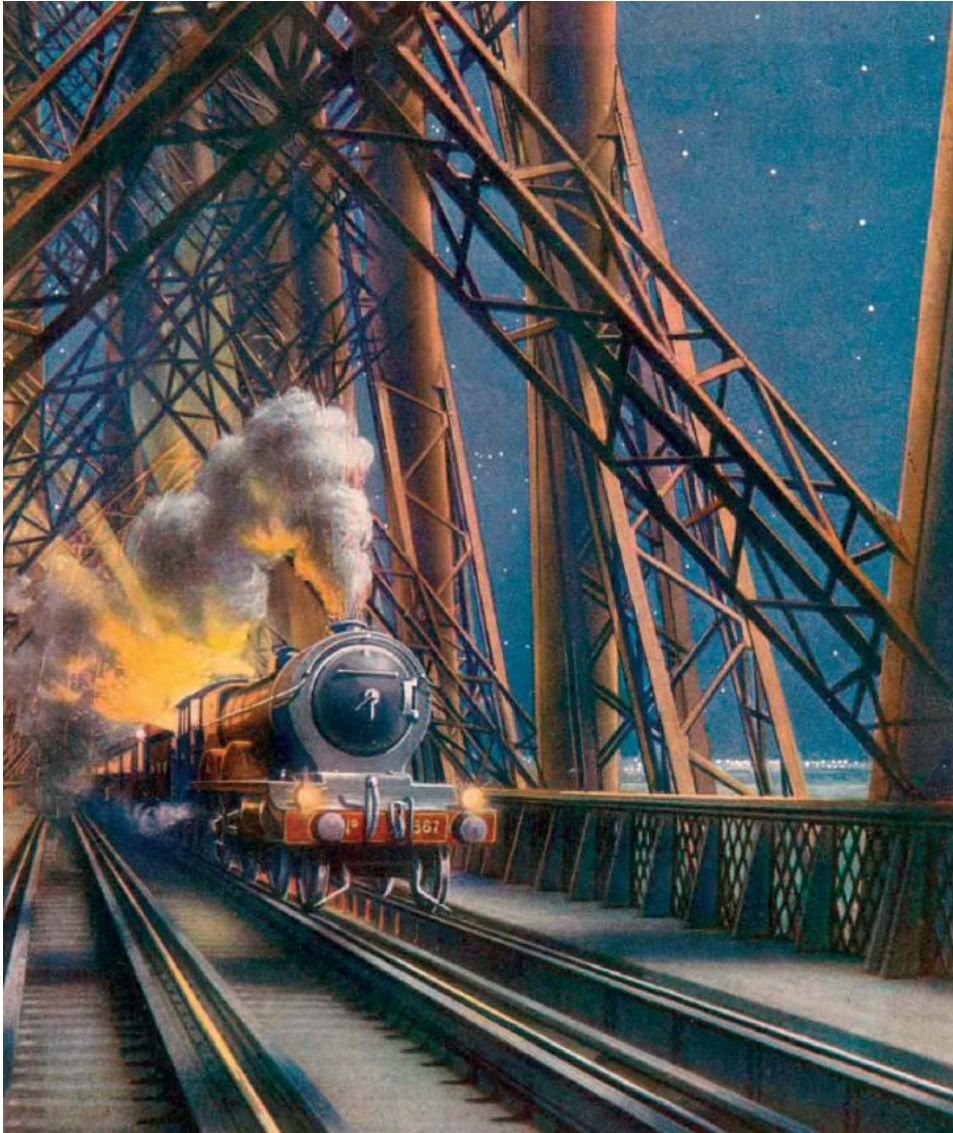


# Magnetická rezonance v revoluční fázi



Jaroslav Tintěra  
IKEM, Praha



# Národní radiologické standardy

Účel:

Definovat pokud možno standardní postupy při lékařském ozáření

Cíl:

Zajistit diagnosticky akceptovatelnou **kvalitu** obrazů při aplikaci co **nejnižší dávky záření**

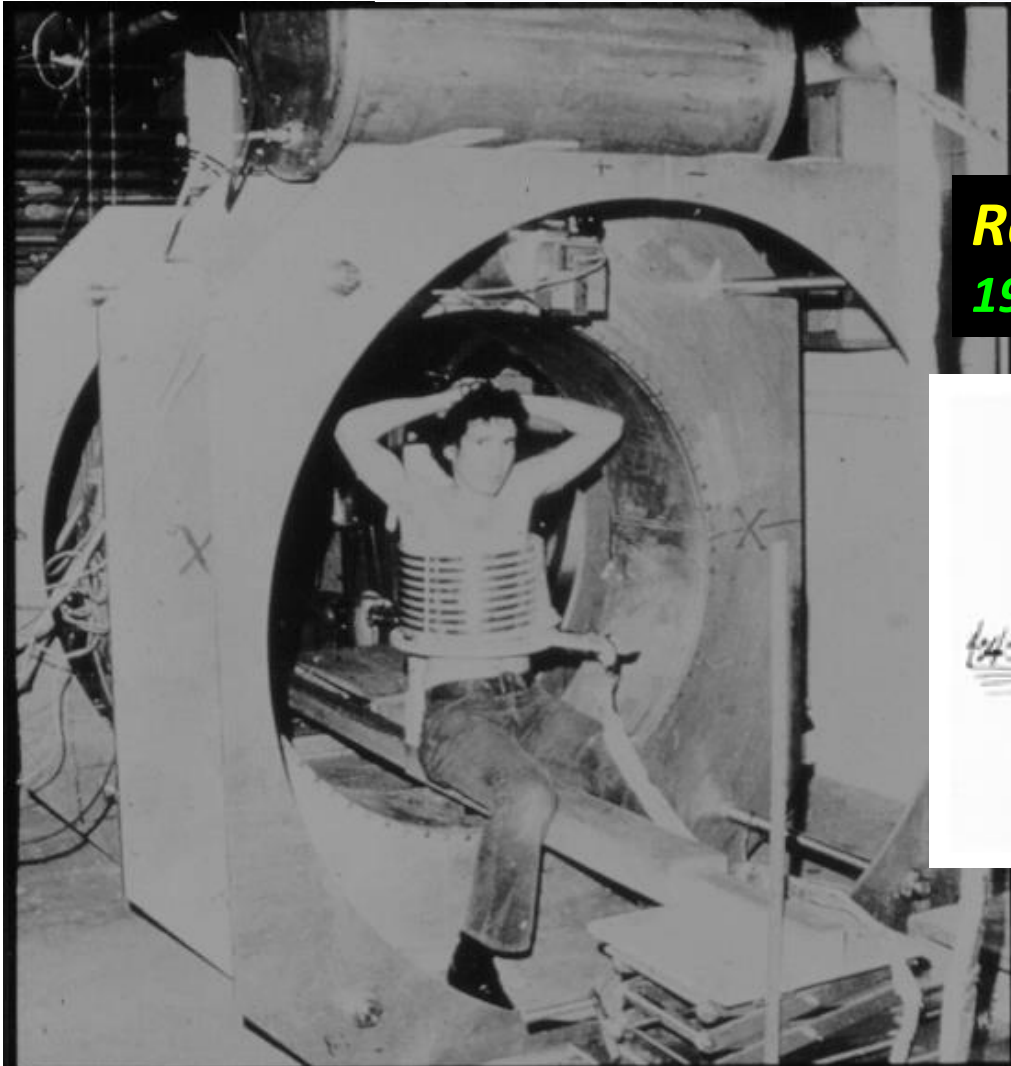
Účel:

Definovat pokud možno standardní postupy a protokoly při MR vyšetřeních

Cíl:

Zajistit diagnosticky akceptovatelnou **kvalitu** MR obrazů za **únosnou dobu vyšetření**

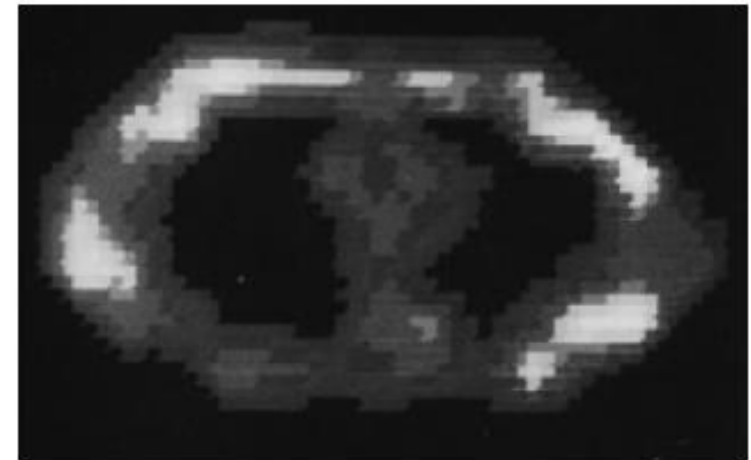
# Kvalita je poněkud relativní pojem ...



**Raymond Damadian**

**1977: 1. celotělový MR skener – čas měření 4,5 hodiny**

*Handwritten note:*  
Scan time 11:00 PM 7/1/77  
X=10, Y=2, Z=67  
Data at 3 1/2" from bottom surface of  
scan to right of center surface  
**FANTASTIC SUCCESS!**  
4:45 AM First Human Image  
Complete in Amazing Detail  
Showing Heart  
Lungs  
Arteries  
Musculature



First successful NMR scan, July 1977  
in Damadian's machine, patient Dr. Minkoff

E Med  
RCT  
82 1282e



# Kvalita obrazu: *Jak ji definovat?*

užitečná informace / rušení obrazu

signál / šum

kontrast / šum

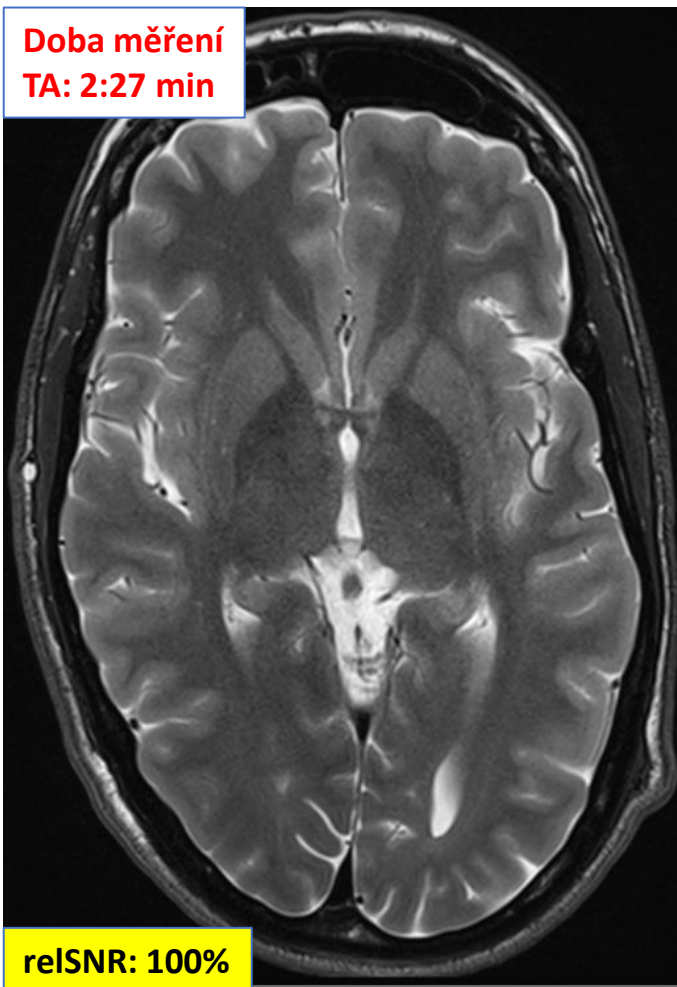


signál

šum

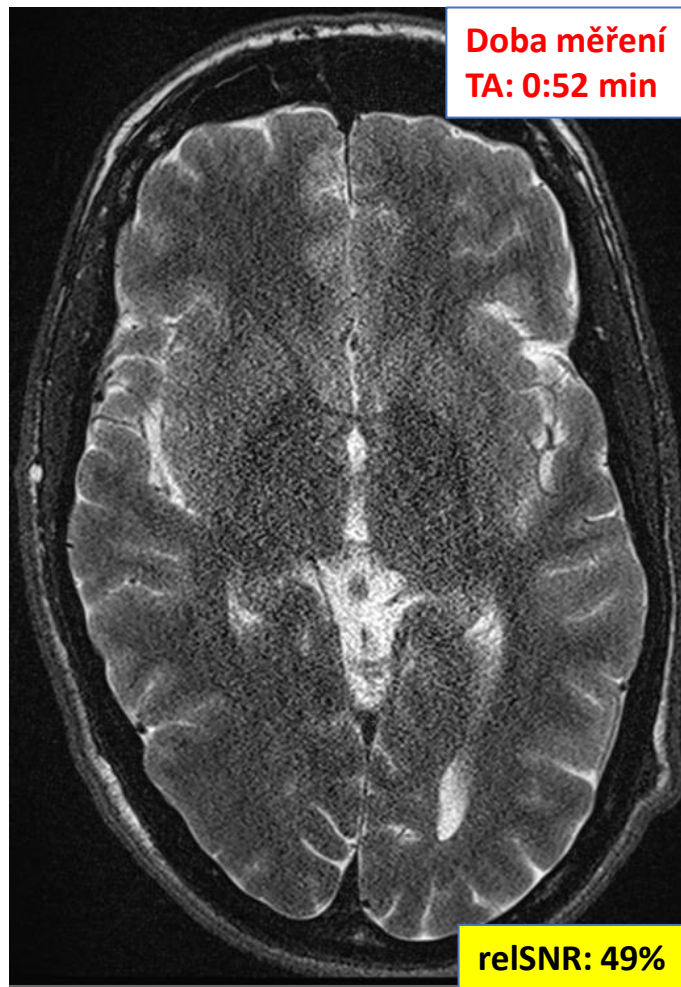
# Kvalitní obraz?

Doba měření  
TA: 2:27 min

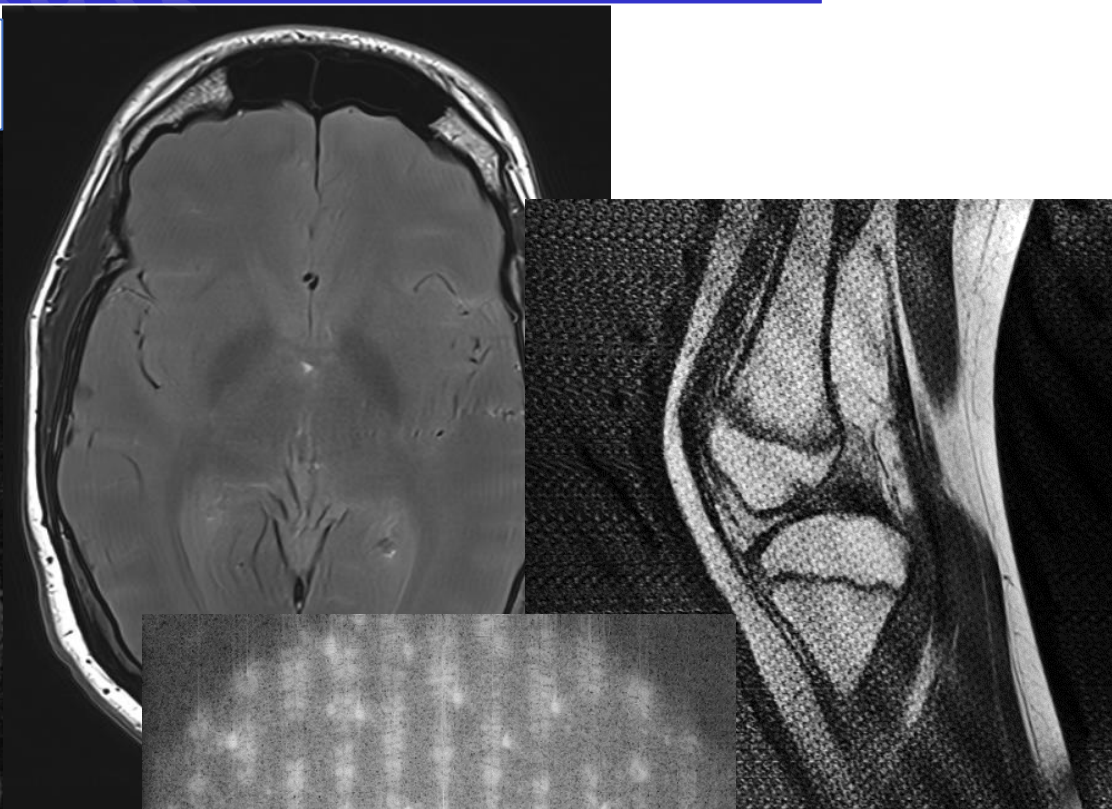


relSNR: 100%

Doba měření  
TA: 0:52 min



relSNR: 49%



# Automatická „kalibrace“ na MR

Provádí se 1x na začátku vyšetření pacienta

**adjustace frekvence**

Stanovení přesné Larmorovy (rezonanční) frekvence

**adjustace transmiteru**

Stanovení referenční hodnoty napětí pro RF pulzy (hodnota pro 180°)

Provádí se pro jednotlivá měření (ne vždy)

**kalibrace přijímacích cívek**

Stanovení citlivosti jednotlivých cívkových elementů v prostoru

Provádí se pro určitá měření (potlačení signálu tuku)

**shim – homogenita  $B_0$**

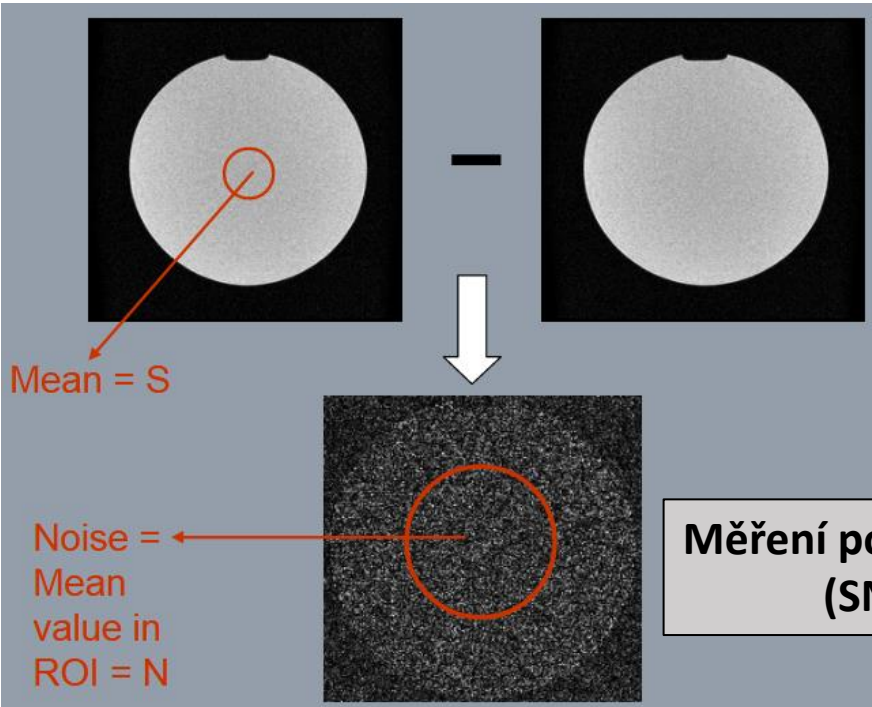
Optimalizace homogenity magnetického pole pro vymezenou oblast

# Kontrola kvality na MR

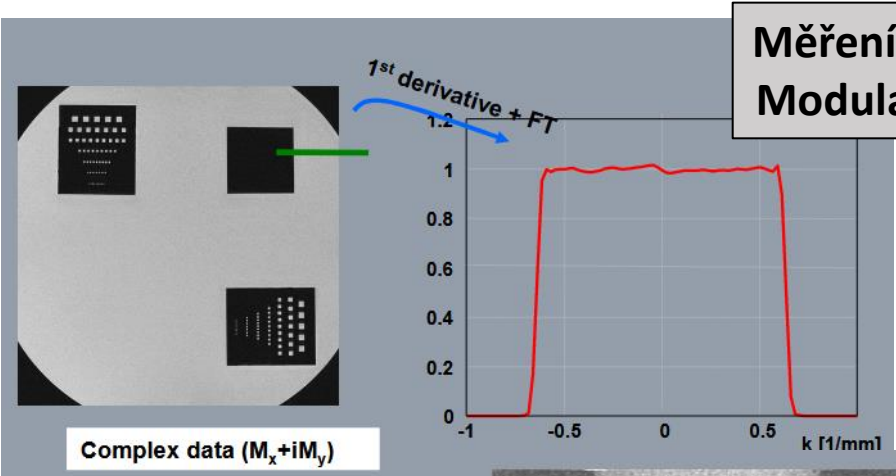
## Problémy:

- každý výrobce má své procedury na QA a příliš neakceptuje jiné...
- měření s běžným fantomem poskytne „pouze“ informace o:
  - poměru signál/šum (SNR) za standardních podmínek
  - časové stability systému
  - prostorové distorzi obrazů (linearitě gradientů)
  - prostorovém rozlišení za nastavených podmínekavšak nezohledňuje kontrast obrazu (rozdíl v signálu mezi tkáněmi)
- měření detekují „pouze technické“ typy artefaktů (např. jiskření), nikoli „fyziologické“ artefakty vlivem pacienta



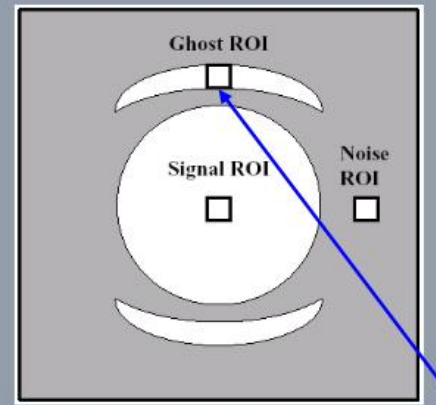
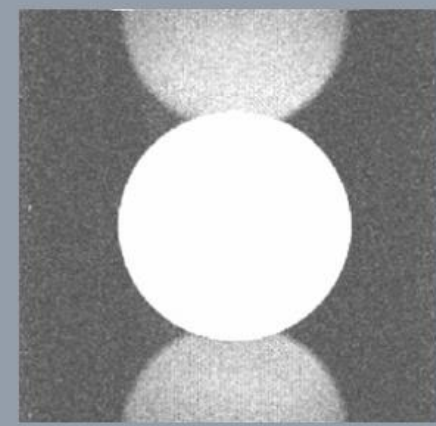


**Měření poměru S/Š (SNR)**



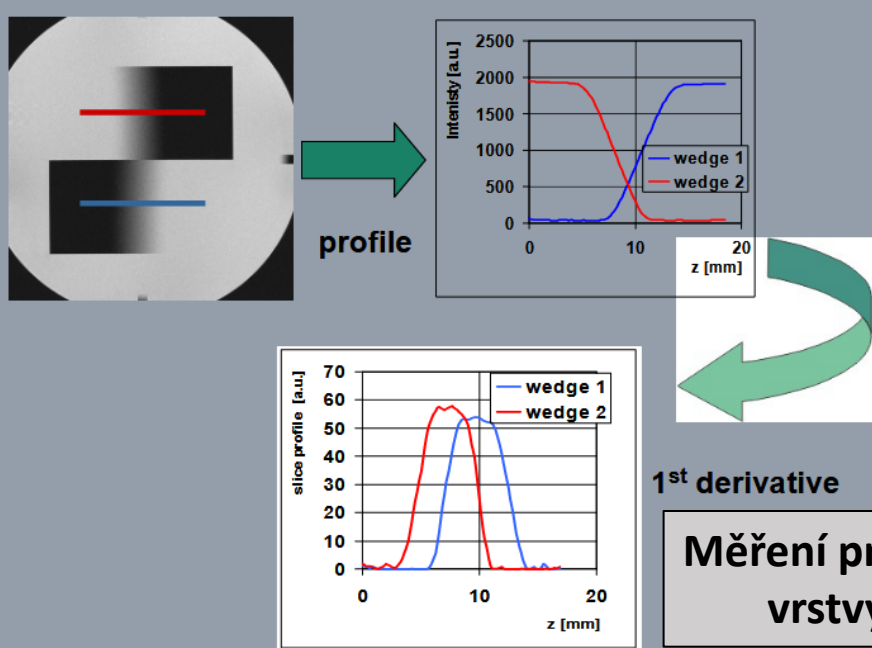
**Měření prostorového rozlišení: Modulation transfer function (MTF)**

**Měření časové stability**

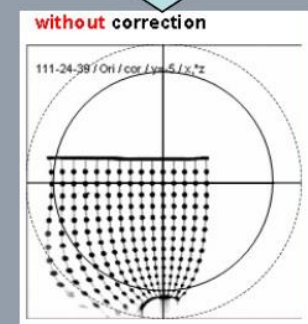
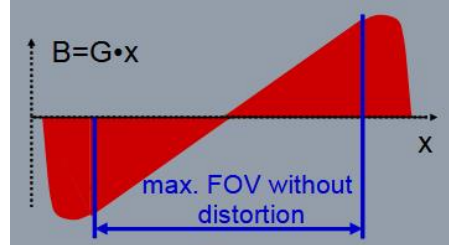


**Nyquist or N/2 ghost**  
Reason: periodic instability

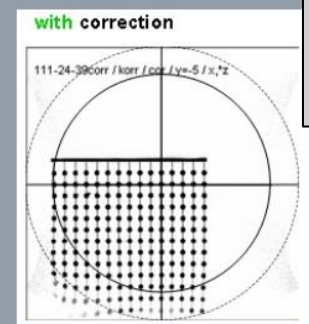
Calculate relative ghost signal  $(G-N)/S$  (%)



**Měření profilu vrstvy**



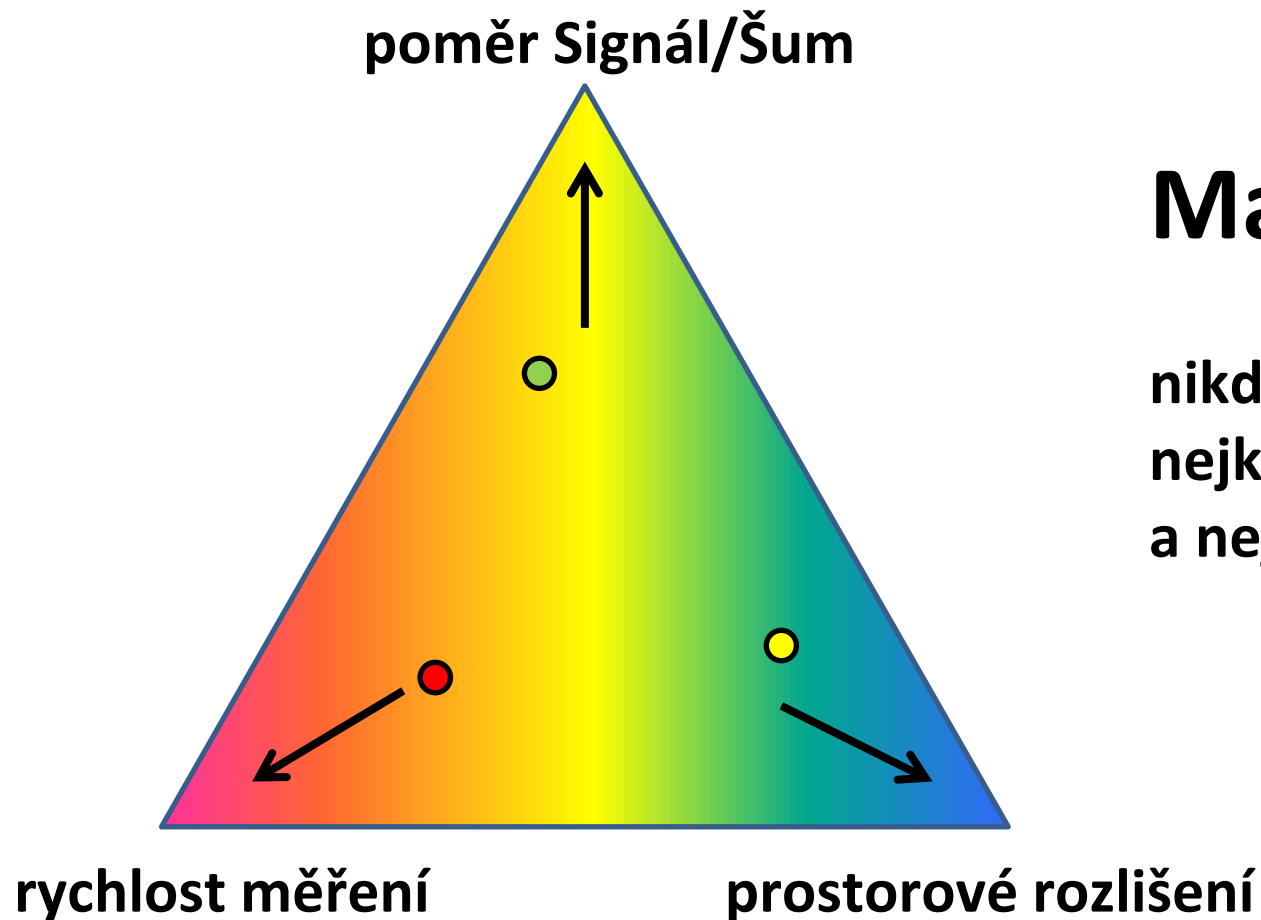
“Distortion correction”



**Měření prostorových distorzí**



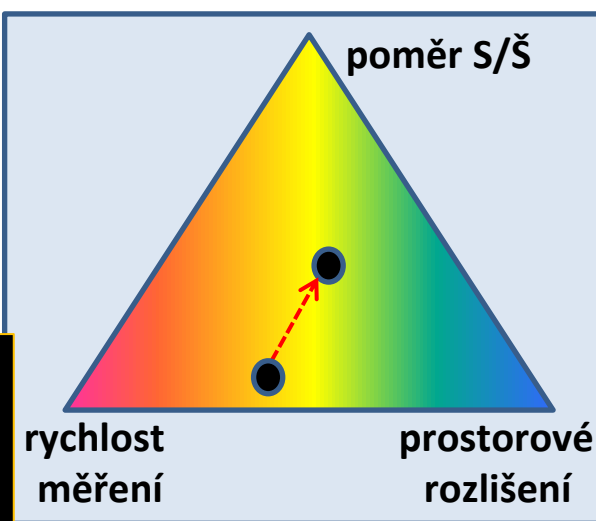
# *Klasická limitace: kompromis mezi S/Š, délkou akvizice a prostorovým rozlišením*



## Magický trojúhelník:

nikdy nelze získat maximální poměr S/Š,  
nejkratší akviziční čas  
a nejvyšší prostorové rozlišení současně!

# Zlepšení poměru S/Š: zvýšení počtu průměrování



$$S/\bar{S} \sim \sqrt{NEX}$$

**rozlišení:**  
**0,7 x 0,7 x 4 mm**  
**čas: 0:57 min**  
**rel. S/Š = 0,61**

Slice group 1  
 Slices 24  
 Dist. factor 10 %  
 Position R8.4 A12.0 H37.  
 Orientation T > C-5.2  
 Phase enc. dir. R >> L  
 Phase oversampling 0 %

FoV read 230 mm  
 FoV phase 100.0 %  
 Slice thickness 4.0 mm  
 TR 5000 ms  
 TE 97 ms  
 Averages 1  
 Concatenations 1  
 Filter Prescan Normalize, ...  
 Coil elements HE1-4

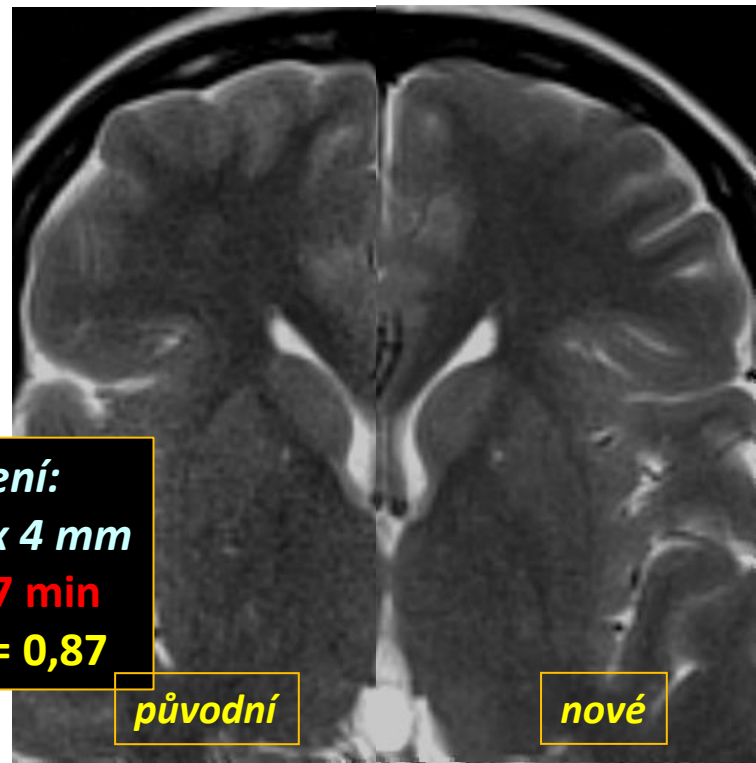
Slices 1 24 128

TA: 1:47 PM: FIX PAT: Off Voxel size: 0.7x0.7x4.0 mm Rel. SNR: 0.87 : tse

Slice group 1  
 Slices 24  
 Dist. factor 10 %  
 Position R8.4 A12.0 H37.  
 Orientation T > C-5.2  
 Phase enc. dir. R >> L  
 Phase oversampling 0 %

FoV read 230 mm  
 FoV phase 70.0 %  
 Slice thickness 4.0 mm  
 TR 5000 ms  
 TE 100.0 ms  
 Averages 2  
 Concatenations 1  
 Filter Prescan Normalize, ...  
 Coil elements HE1-4

Averages 1 2 32



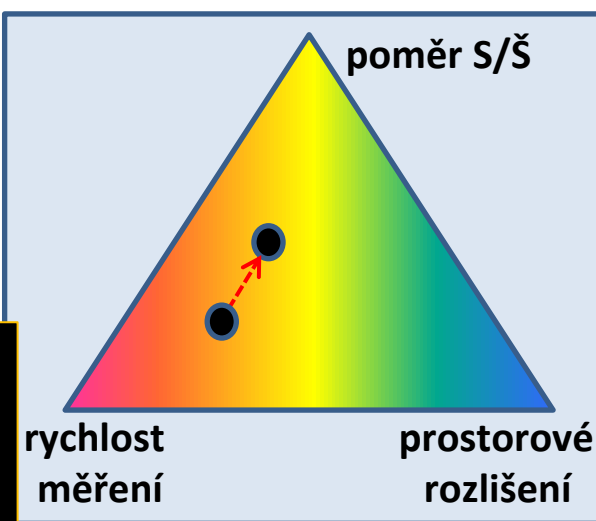
**rozlišení:**  
**0,7 x 0,7 x 4 mm**  
**čas: 1:47 min**  
**rel. S/Š = 0,87**

**Zdvojnásobení  
akviziční doby**

**vede k**

**1.43 krát lepšímu  
poměru S/Š**

# Zlepšení poměru S/Š: zvýšení počtu měřených řádků



$$S/\bar{S} \sim \sqrt{N}$$

**rozlišení:**  
**1,0 x 0,7 x 4 mm**  
**čas: 0:47 min**  
**rel. S/Š = 0,77**

**Zdvojnásobení  
akviziční doby**

**by vedlo také k**

**1.43 krát lepšímu  
poměru S/Š**

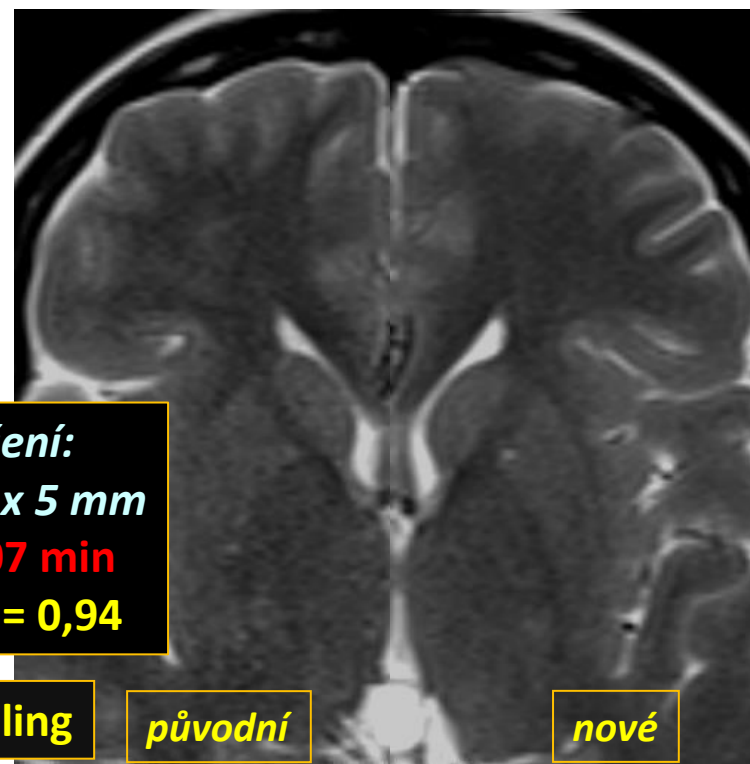
Slice group: 1  
 Slices: 24  
 Dist. factor: 10 %  
 Position: R8.4 A12.0 H37.  
 Orientation: T > C-5.2  
 Phase enc. dir.: R >> L  
 Phase oversampling: 0 %

FoV read: 230 mm  
 FoV phase: 70.0 %  
 Slice thickness: 4.0 mm  
 TR: 5000 ms  
 TE: 102.0 ms  
 Averages: 2  
 Concatenations: 1  
 Filter: Prescan Normalize, ...  
 Coil elements: HE1-4

TA: 1:07 PM: FIX PAT: 2 Voxel size: 1.0x0.7x4.0 mm Rel. SNR: 0.94 tse

Slice group: 1  
 Slices: 24  
 Dist. factor: 10 %  
 Position: R8.4 A12.0 H37.  
 Orientation: T > C-5.2  
 Phase enc. dir.: R >> L  
 Phase oversampling: 60 %

FoV read: 230 mm  
 FoV phase: 70.0 %  
 Slice thickness: 4.0 mm  
 TR: 5000 ms  
 TE: 102.0 ms  
 Averages: 2  
 Concatenations: 1  
 Filter: Prescan Normalize, ...  
 Coil elements: HE1-4



**rozlišení:**  
**1,0 x 0,7 x 5 mm**  
**čas: 1:07 min**  
**rel. S/Š = 0,94**

**over-sampling**

**původní**

**nové**



# Zvýšit prostorové rozlišení?

TA: 0:57 PM: FIX PAT: 2 Voxel size: 1.2x0.9x4.0 mm Rel. SNR: 1.25 : tse

Common iPAT Filter

FoV read 230 mm Trajectory Cartesian

FoV phase 70.3 %

Slice thickness 4.0 mm

Base resolution 256

Phase resolution 75 %

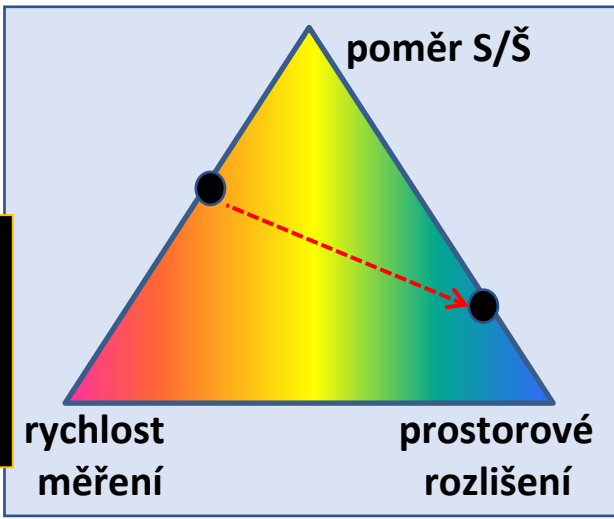
Phase partial Fourier Off

Interpolation

Phase resolution 15 75 100

Routine Contrast Resolution Geometry System Physio Inline Sequence

**rozišení:**  
**1,2 x 0,9 x 4 mm**  
**čas: 0:57 min**  
**rel. S/Š = 1,25**



**Čtyřikrát vyšší  
prostorové rozlišení**  
(velikost pixelu z 1 na 0,25 mm<sup>2</sup>)

**vede k**

**5x delšímu času měření**  
(zvětšení matice,  
zvýšení průměrování)

**a ještě k poklesu  
poměru S/Š**

Common iPAT Filter

FoV read 230 mm Trajectory Cartesian

FoV phase 100.0 %

Slice thickness 4.0 mm

Base resolution 448

Phase resolution 100 %

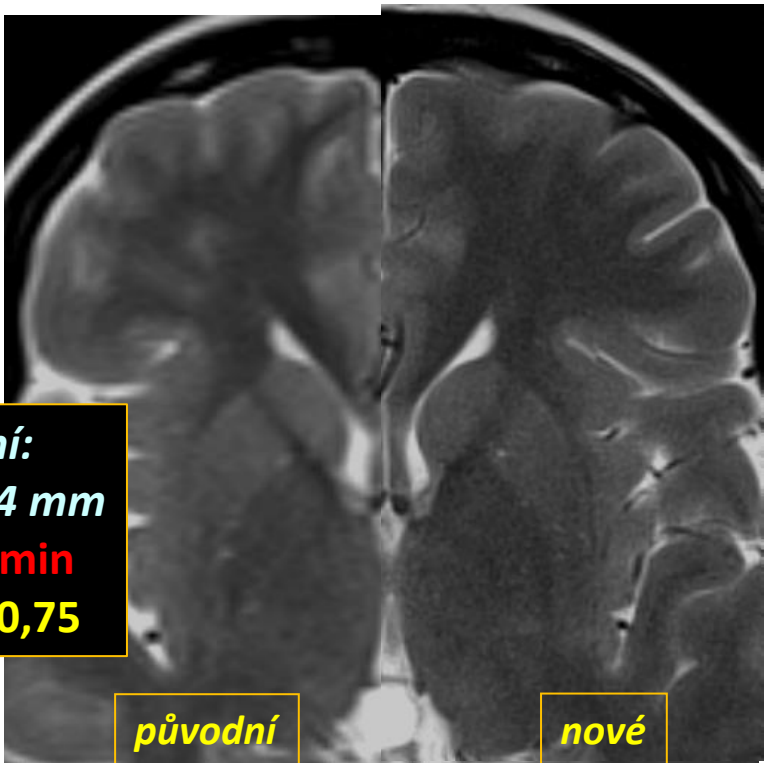
Phase partial Fourier Off

Interpolation

Base resolution 128 448 960

Routine Contrast Resolution Geometry System Physio Inline Sequence

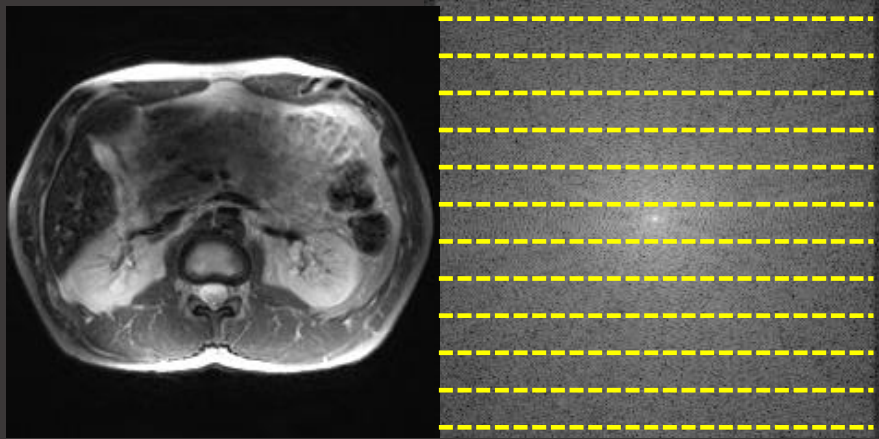
**rozišení:**  
**0,5 x 0,5 x 4 mm**  
**čas: 5:13 min**  
**rel. S/Š = 0,75**



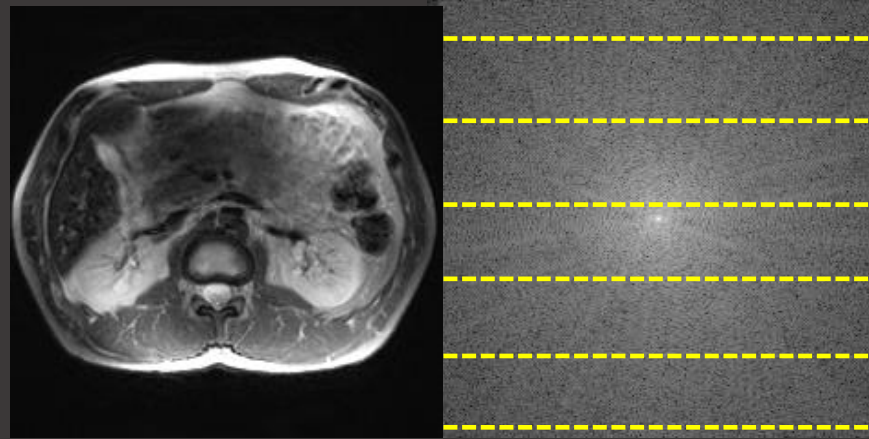
**původní**

**nové**

# Paralelní akviziční techniky (PAT)



100% FOV  
TA = 100%  
S/Š = 100%  
rozlišení = 100%



100% FOV  
TA = 50%  
S/Š < 68%  
rozlišení = 100%

**PAT = 2**


Rozlišení se nemění, čas klesá lineárně, S/Š klesá .....

PAT vynechá určitý počet řádků k-prostoru a plná matice je rekonstruována pomocí paralelního náběru dat z více cívek.

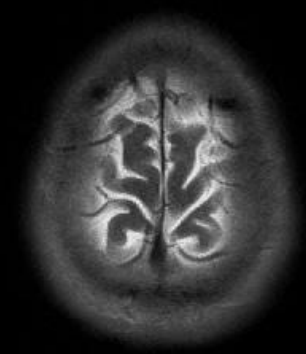
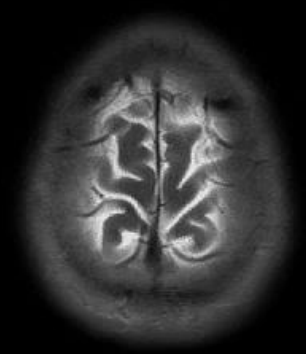
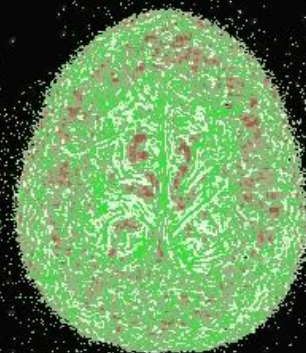
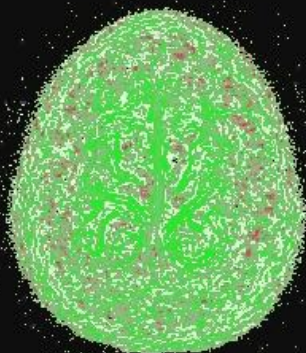
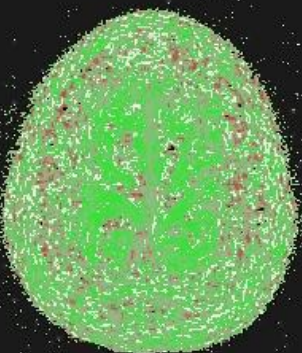
To zásadně ušetří čas ale také vede k významnému poklesu poměru S/Š.

Poměr S/Š má v obraze prostorovou distribuci, není všude stejný.

# PAT: *prostorová distribuce S/Š*

teoretický S/Š  
(bez PAT) 

nižší S/Š 



**PAT=2**

ETL= 485 ms  
teor. S/Š: 71%

**PAT=3**

ETL= 373 ms  
teor. S/Š: 58%

**PAT=4**

ETL= 323 ms  
teor. S/Š: 50%

Dál od povrchově  
rozložených cívek  
je situace vždy  
horší  
a poměr S/Š klesá.

**3 T**

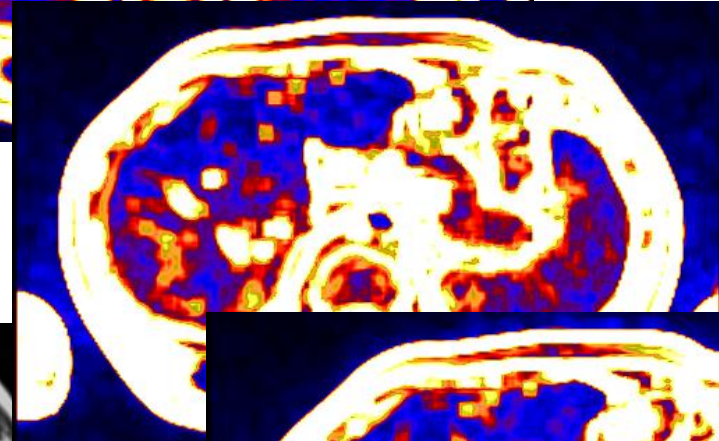
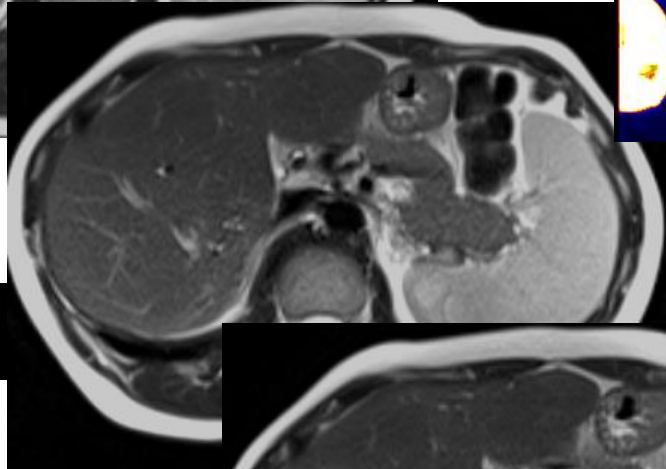
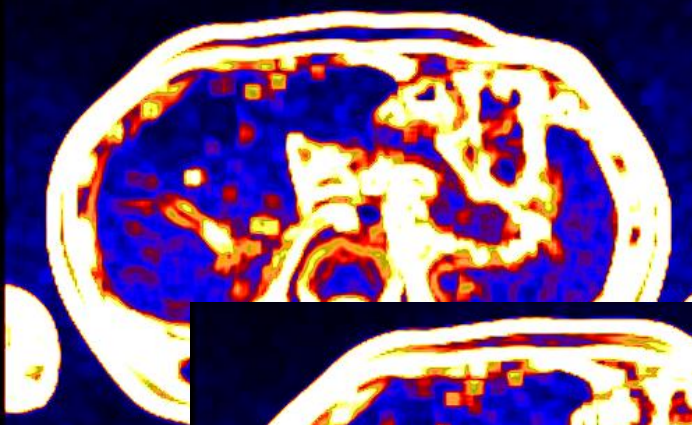
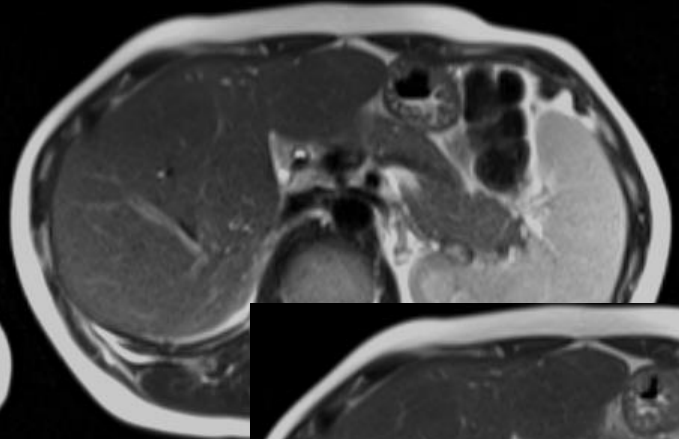
HASTE:

0,7x0,6x4 mm

TE=89 ms

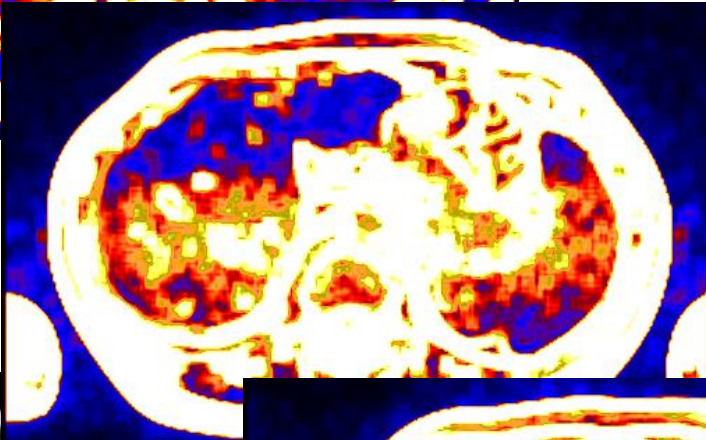
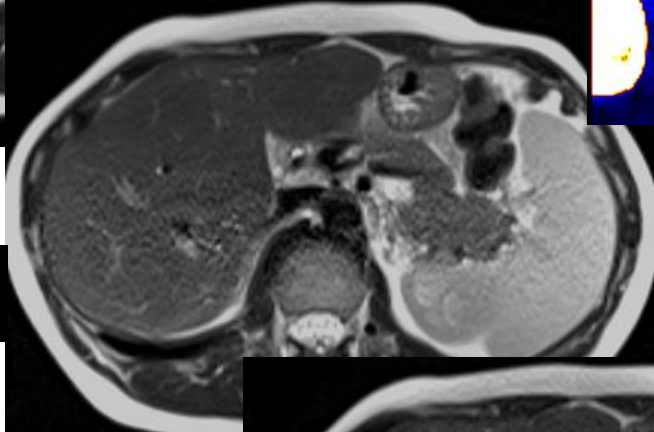


# PAT a poměr S/Š



g - mapy

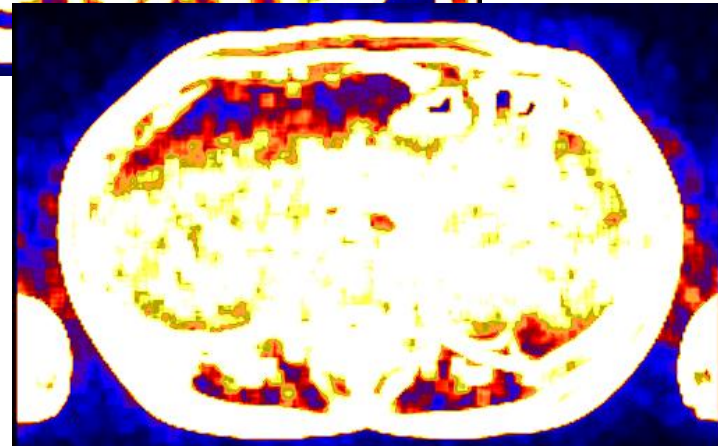
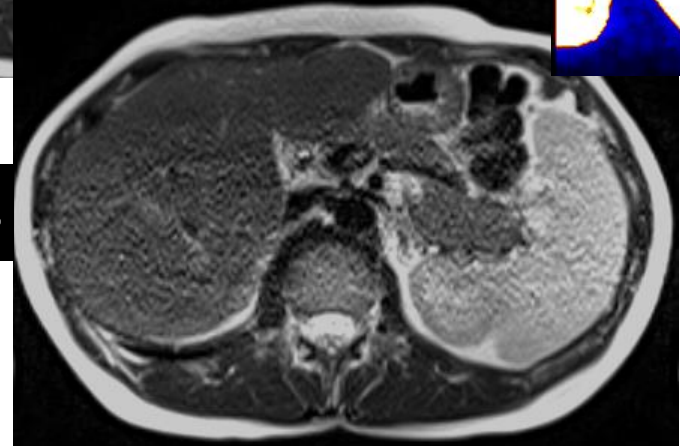
PAT = 2



PAT = 3

HASTE

PAT = 4

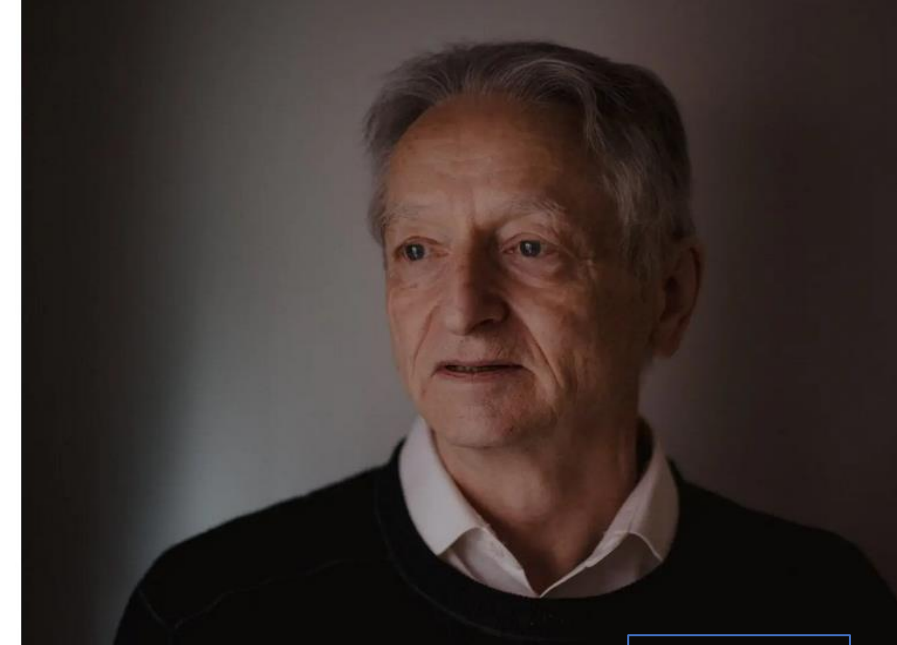


# Nové metody rekonstrukce MR obrazů: Hluboké učení a umělá inteligence.

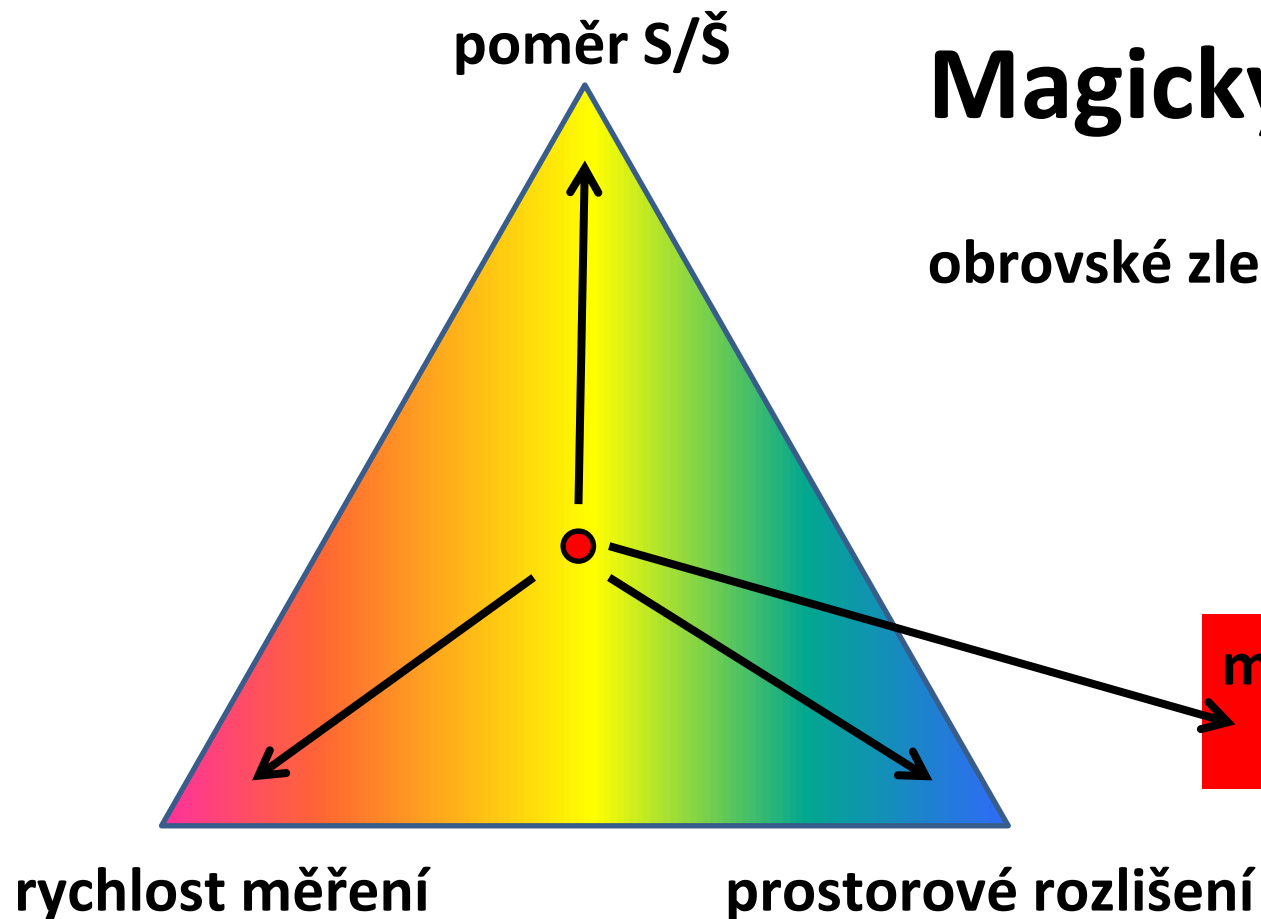
| Zkouška   | GPT-4 (nová verze) | GPT-3 (starší verze) |
|---|--------------------|----------------------|
| Závěrečná zkouška práv (MBE + MEE + MPT)              | Lépe než 90 % lidí | Lépe než 10 % lidí   |
| Přijímací zkoušky na práva                            | Lépe než 86 % lidí | Lépe než 40 % lidí   |
| Americká maturita z matematiky                        | Lépe než 89 % lidí | Lépe než 70 % lidí   |
| Ověření verbální gramotnosti na vysokoškolské úrovni  | Lépe lidí          |                      |
| Ověření výpočetní gramotnosti na vysokoškolské úrovni | Lépe lidí          |                      |

## ***'The Godfather of A.I.' Leaves Google and Warns of Danger Ahead***

For half a century, Geoffrey Hinton nurtured the technology at the heart of chatbots like ChatGPT. Now he **worries it will cause serious harm.**



# „Revoluce“ v rekonstrukci podvzorkovaných dat: Deep Learning mění poměry mezi S/Š, dobou akvizice a rozlišením



## Magický trojúhelník už neplatí???

obrovské zlepšení kvality obrazů (poměru S/Š i rozlišení)

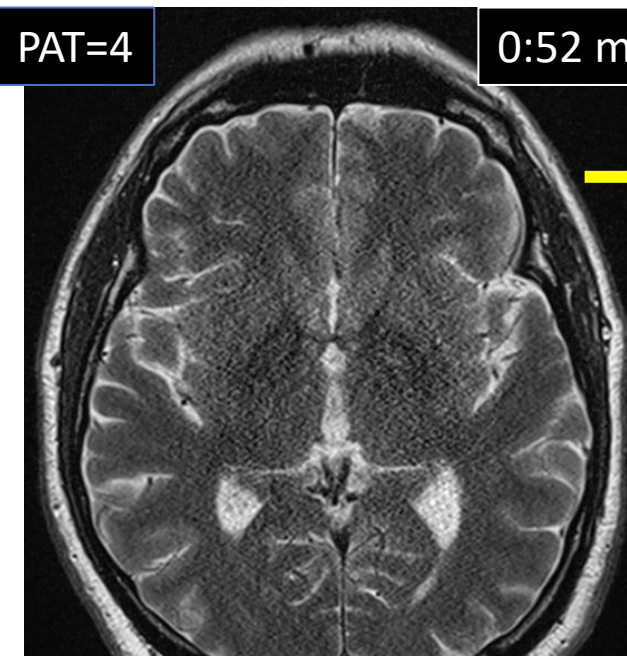
**ALE...**

**víme vždy, co se děje?**

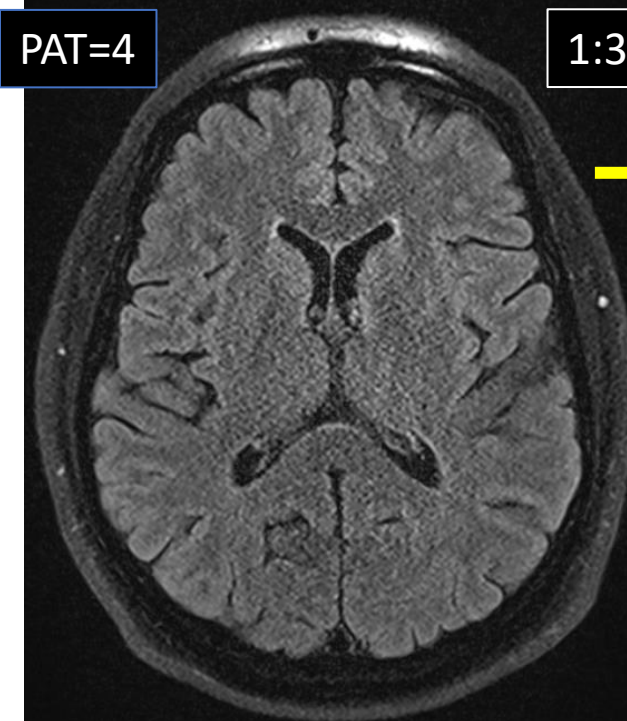
**mimo realitu:  
artefakt!!!**

**NE!!!**

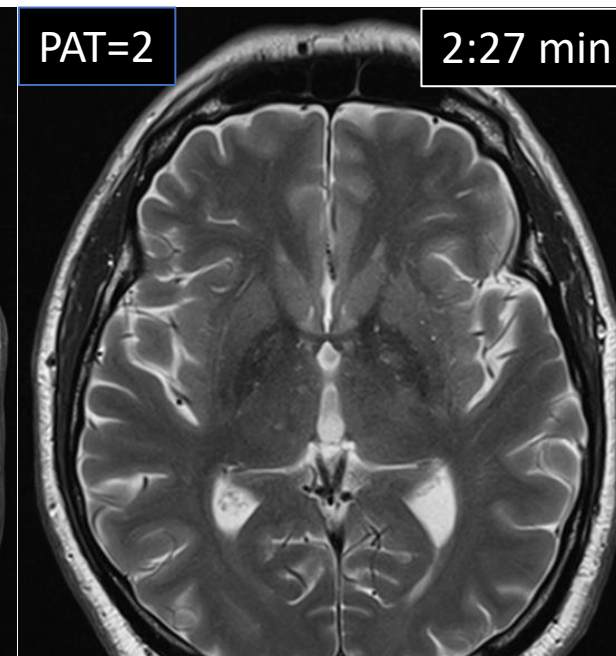
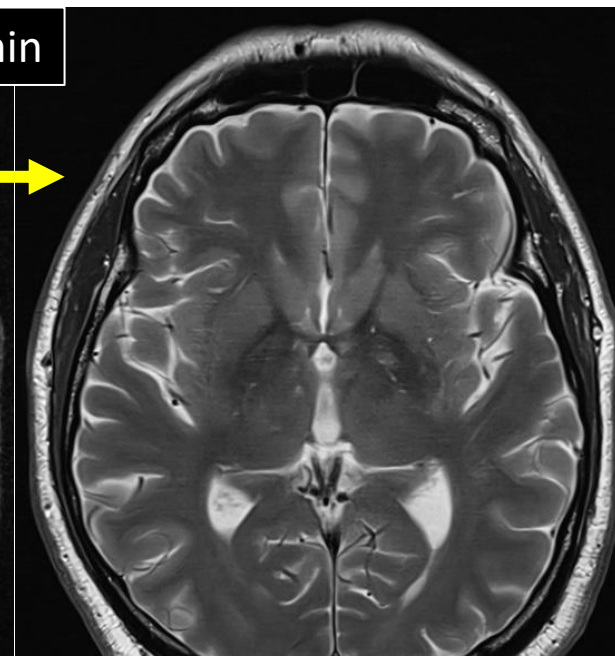




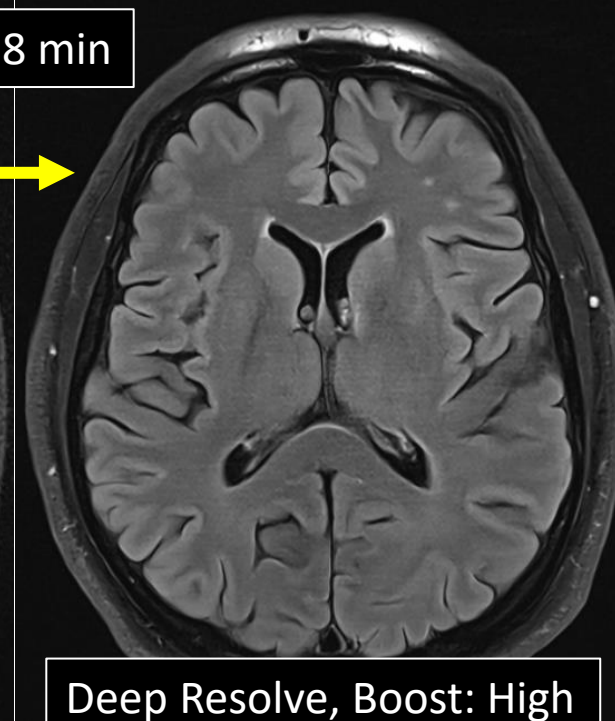
0:52 min



1:38 min



2:27 min



Deep Resolve, Boost: High

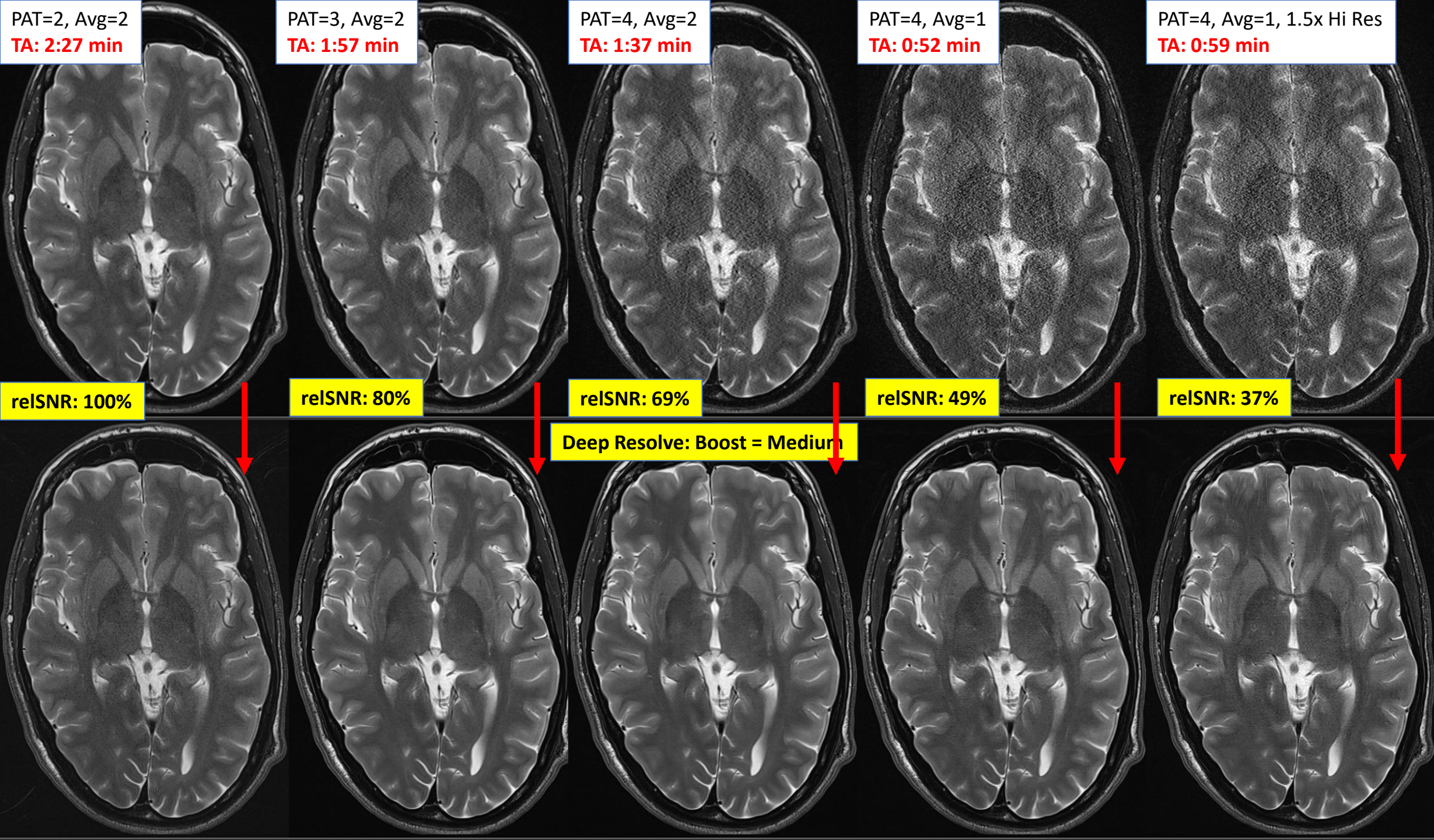


4:34 min

# Deep Resolve

**BOOST:**  
Deep Resolve Boost uses raw-data-to-image deep learning reconstruction technology. from low resolution input data. The network was trained on a large number of pairs of low-resolution and high-resolution data. would be most dominant.







**Deep Resolve: Boost = Medium**



T2 TSE:  
0,7 x 0,7 x 4mm  
PAT=2, AC=2  
TA: 3:45 min



T2 TSE:  
0,7 x 0,7 x 4mm  
PAT=2, AC=1  
TA: 2:35 min

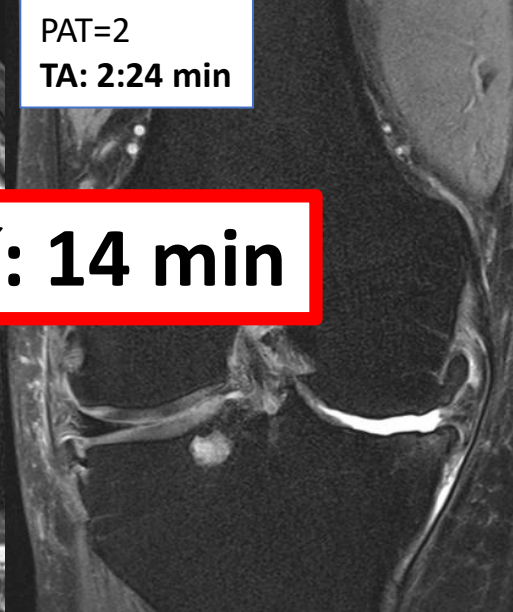
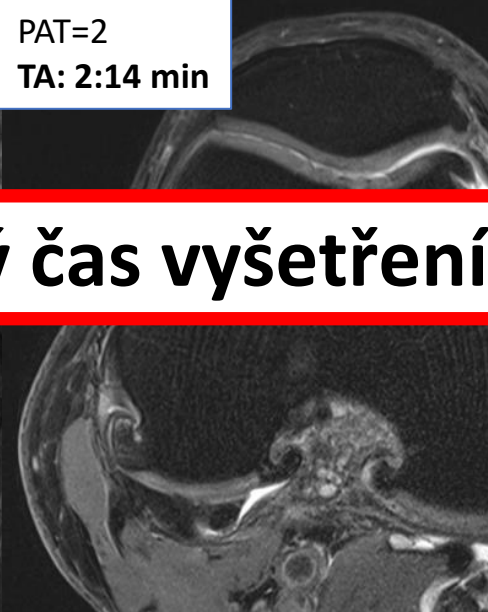
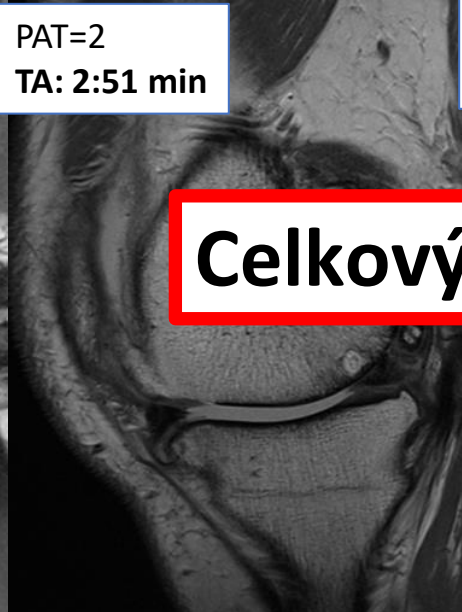
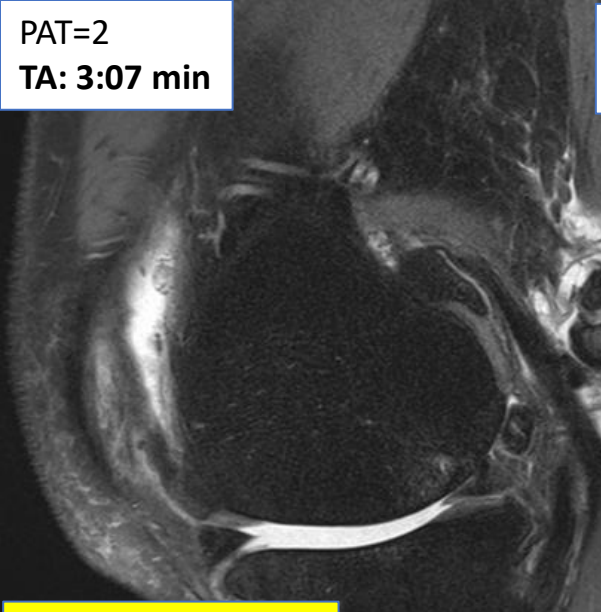


T2 TSE:  
0,7 x 0,7 x 4mm  
PAT=3, AC=1  
TA: 1:55 min



T2 TSE:  
0,7 x 0,7 x 4mm  
PAT=4, AC=1  
TA: 0:55 min





**Celkový čas vyšetření: 14 min**

**3 T magnet**  
18-ch Tx/Rx KC

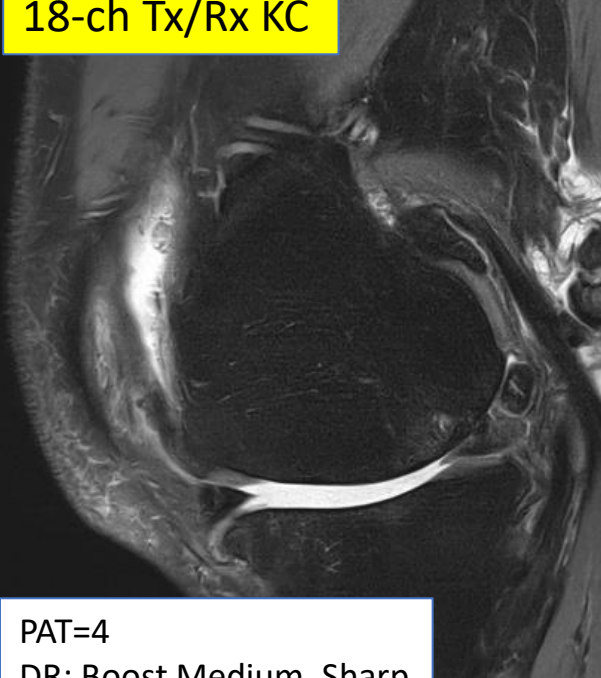
0,37 x 0,31 x 2,5 mm

0,38 x 0,38 x 3 mm

0,37 x 0,31 x 3 mm

0,45 x 0,31 x 3 mm

**Celkový čas vyšetření: 7 min**





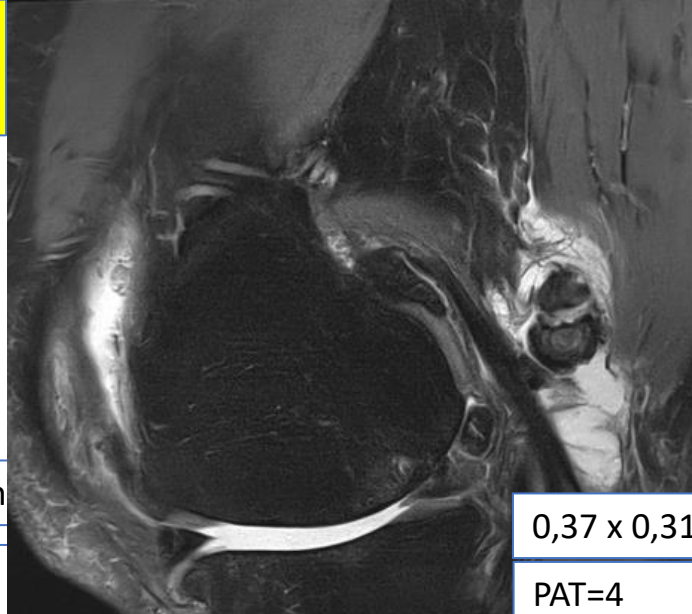
**3 T magnet**  
18-ch Tx/Rx KC

0,38 x 0,32 x 3 mm

PAT=4

DR: Boost **Medium**

TA: 1:19 min



0,37 x 0,31 x 2,5 mm

PAT=4



0,37 x 0,31 x 3 mm

PAT=4

DR: Boost **Medium**, Sharp

TA: 1:25 min

**Téměř srovnatelný klinický výstup  
na 6x nižším magnetickém poli**

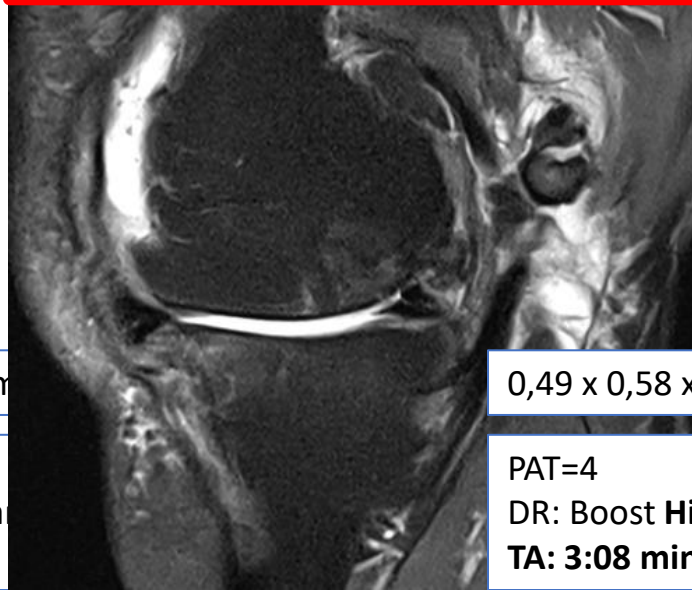
**0,55 T magnet**  
6-ch Rx Contour

0,49 x 0,58 x 3,5 mm

PAT=4

DR: Boost **High**, Sha

TA: 3:08 min

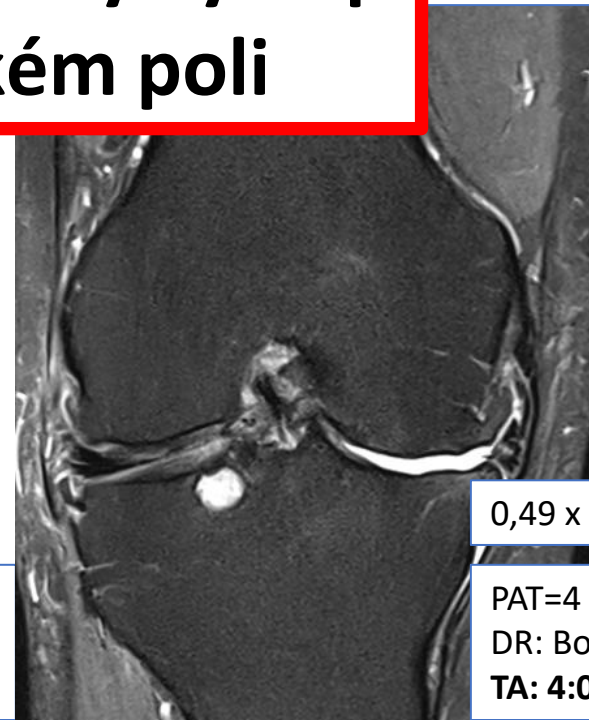


0,49 x 0,58 x 3 mm

PAT=4

DR: Boost **High**, Sharp

TA: 3:08 min



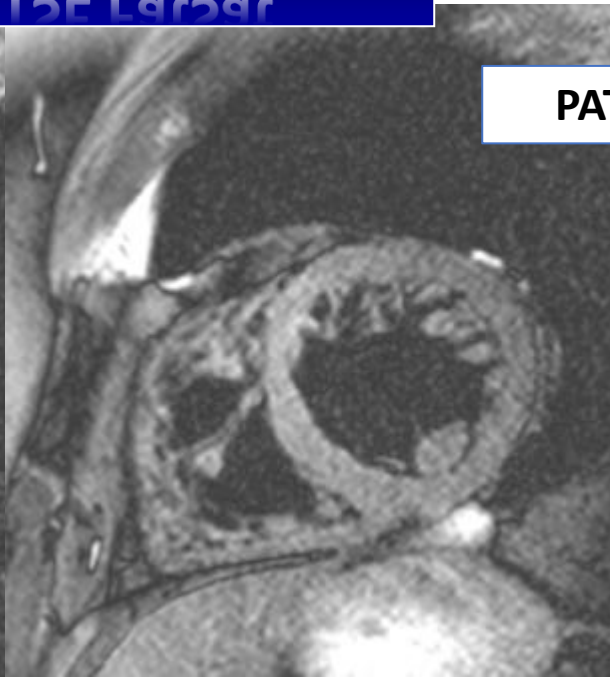
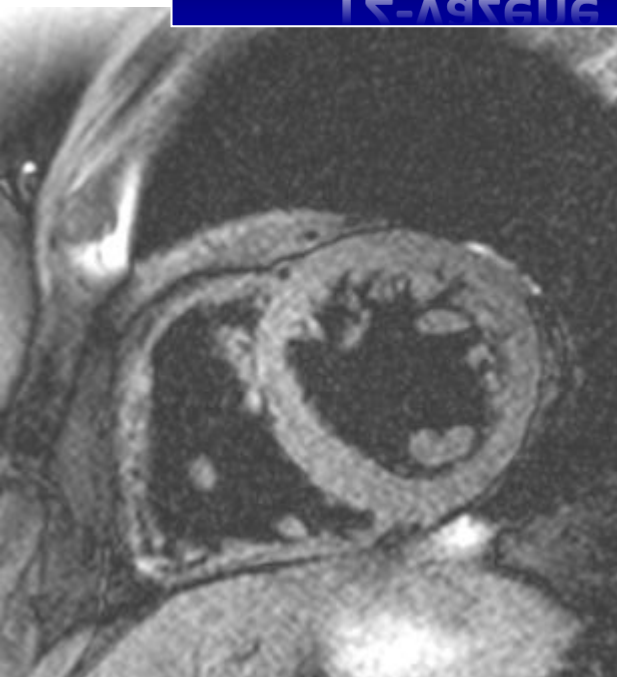
0,49 x 0,58 x 3 mm

PAT=4

DR: Boost **High**, Sharp

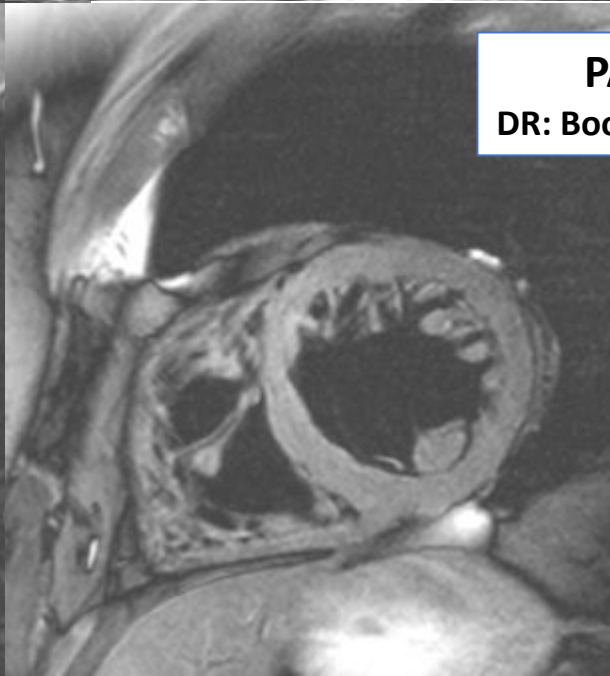
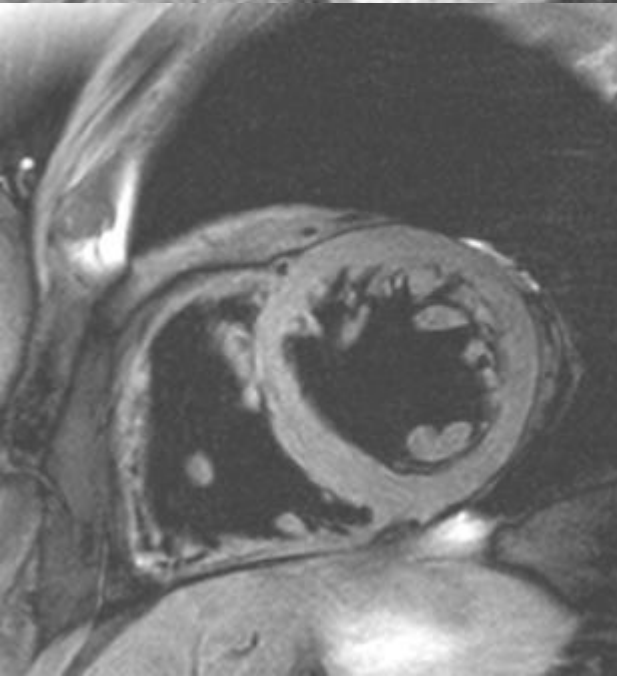
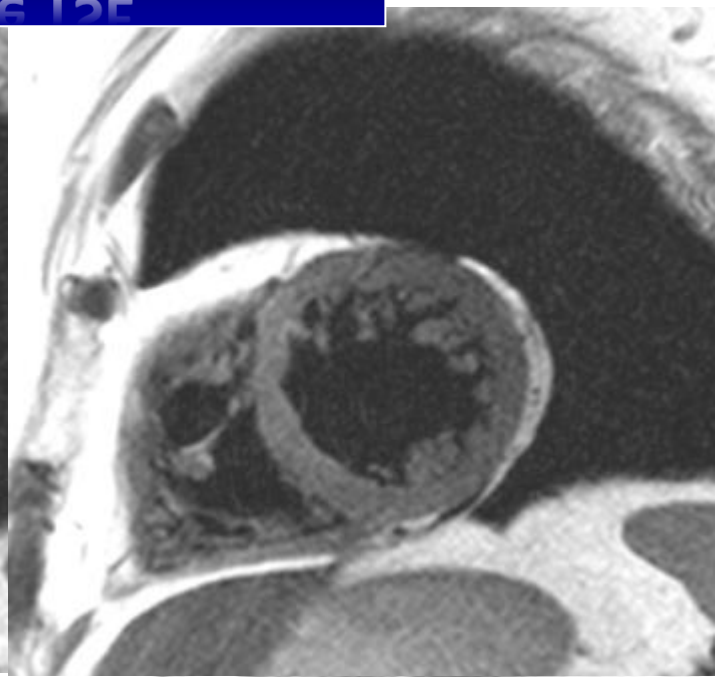
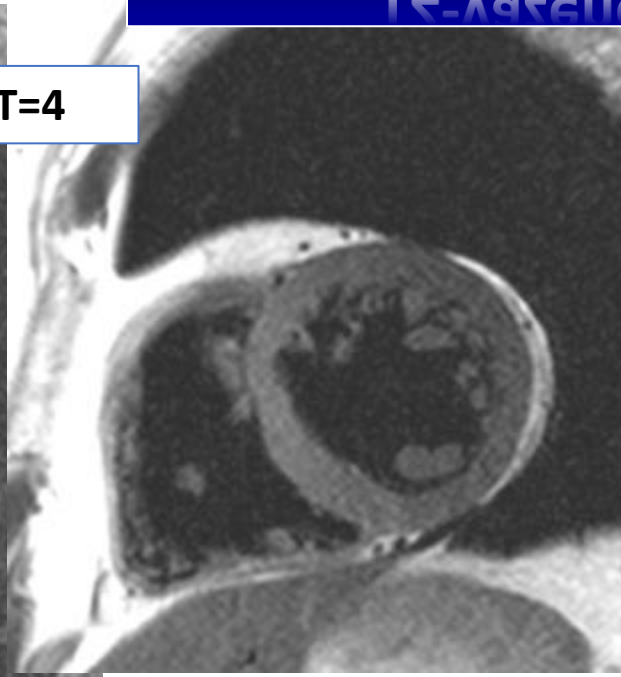
TA: 4:02 min

# T2-vážené TSE FatSat



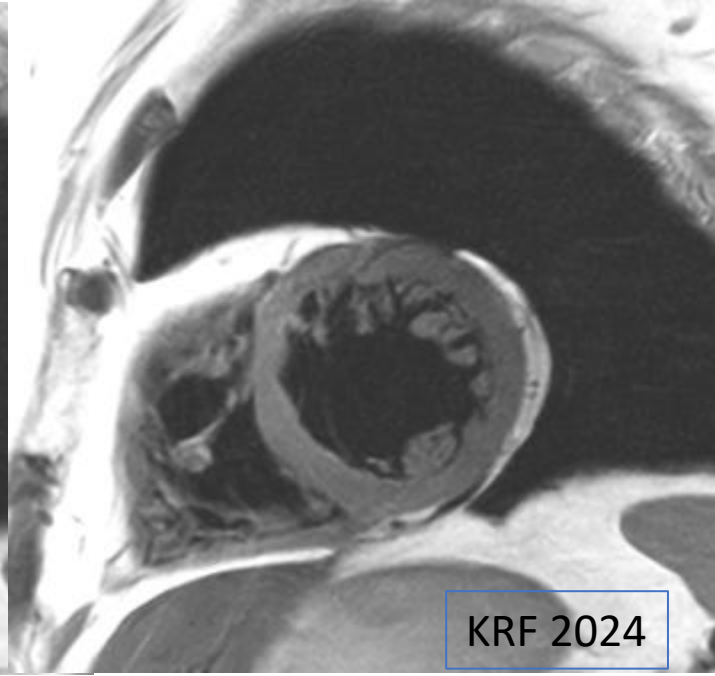
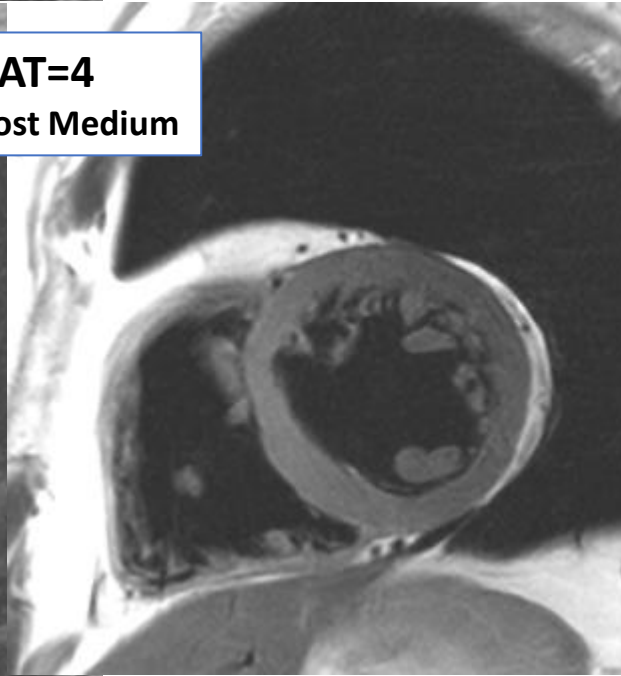
PAT=4

# T2-vážené TSE



PAT=4

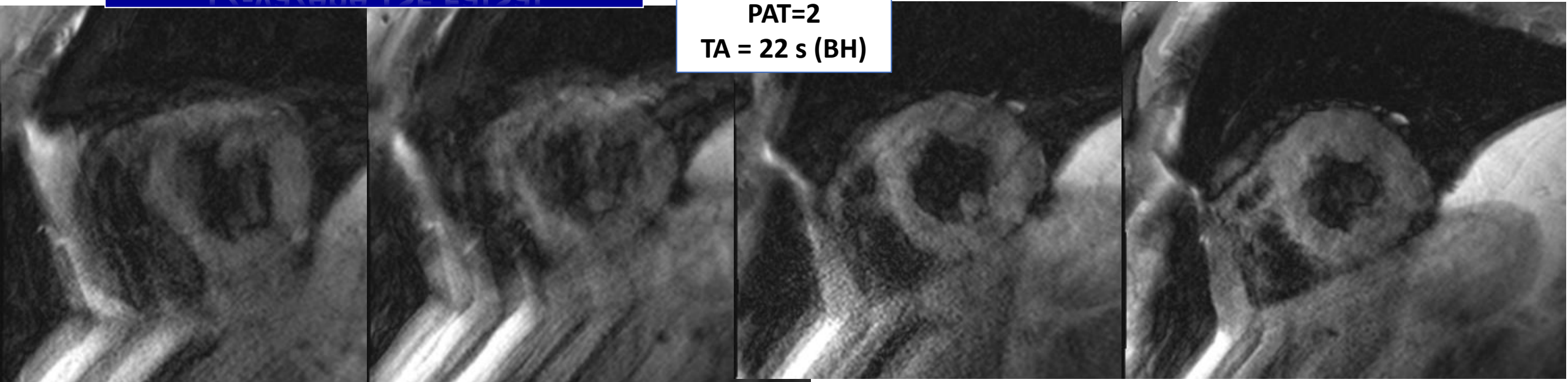
DR: Boost Medium



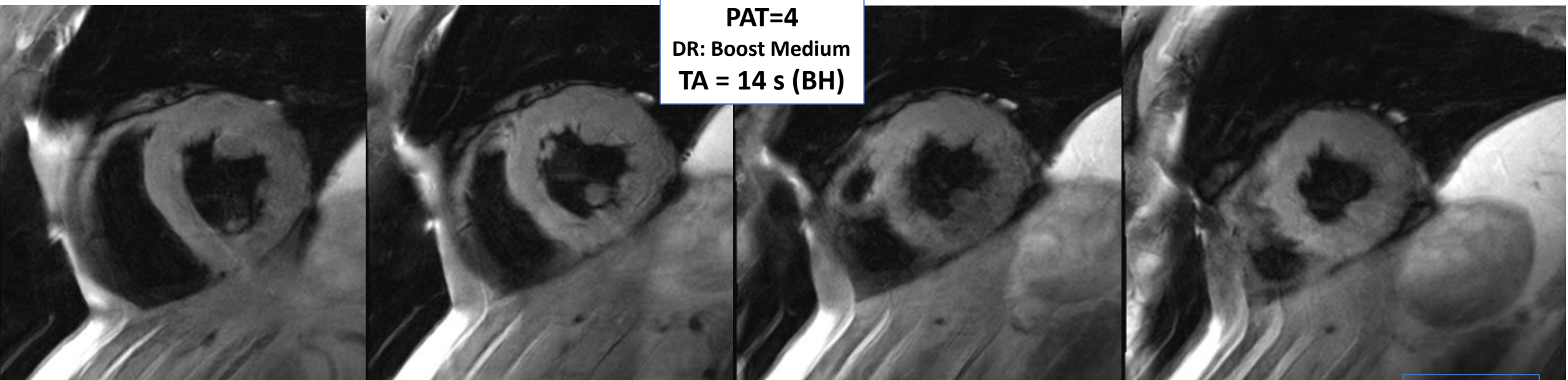


# T2-vážené TSE FatSat

**PAT=2**  
**TA = 22 s (BH)**



**PAT=4**  
**DR: Boost Medium**  
**TA = 14 s (BH)**





PAT=4  
DR: OFF

PAT=2  
DR: OFF

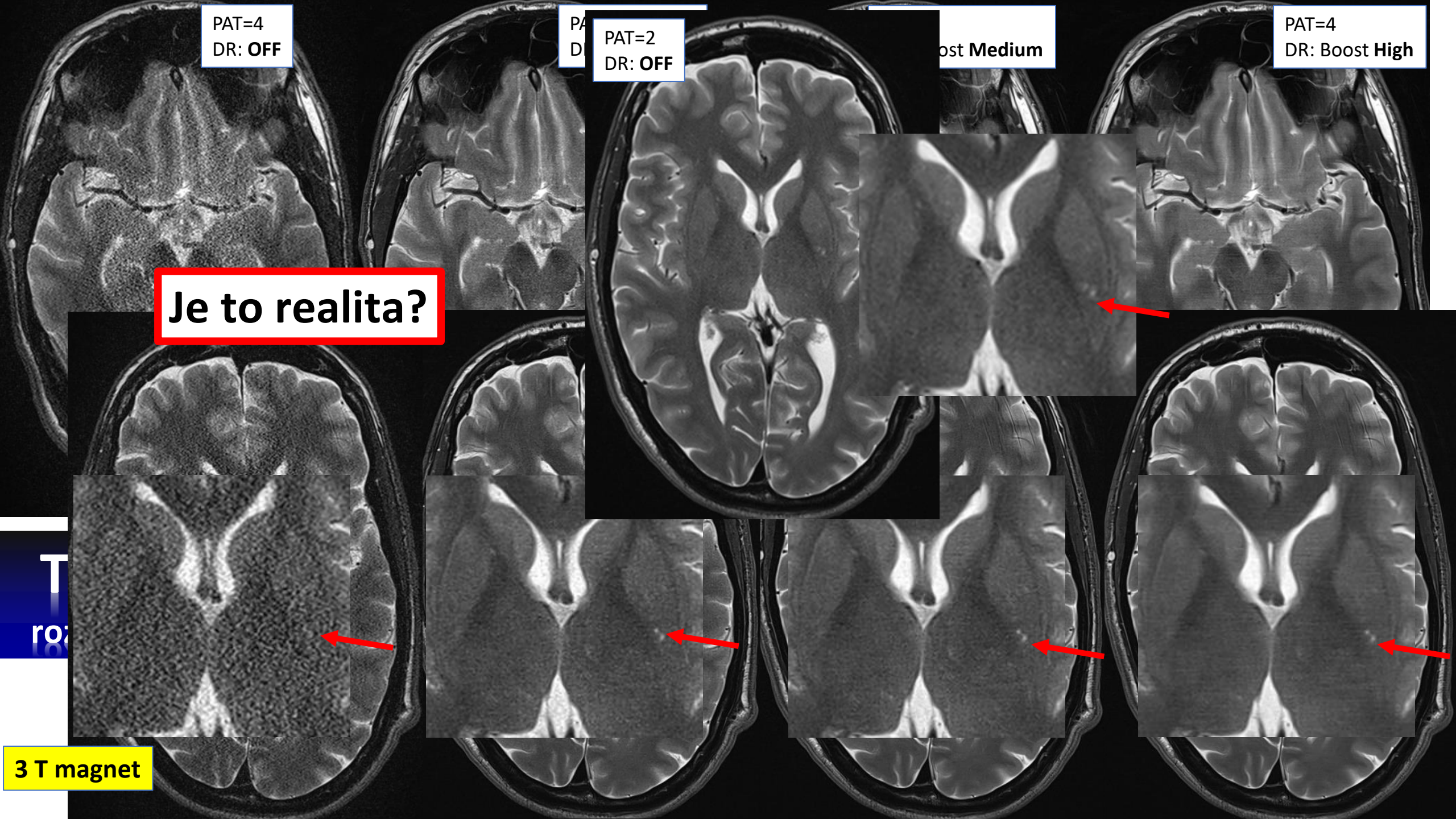
ost Medium

PAT=4  
DR: Boost High

**Je to realita?**

T  
ro

3 T magnet



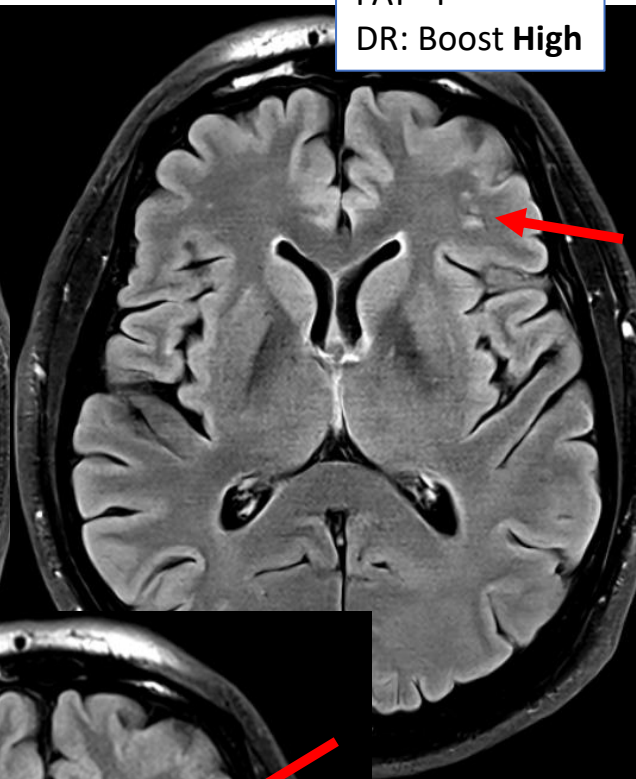
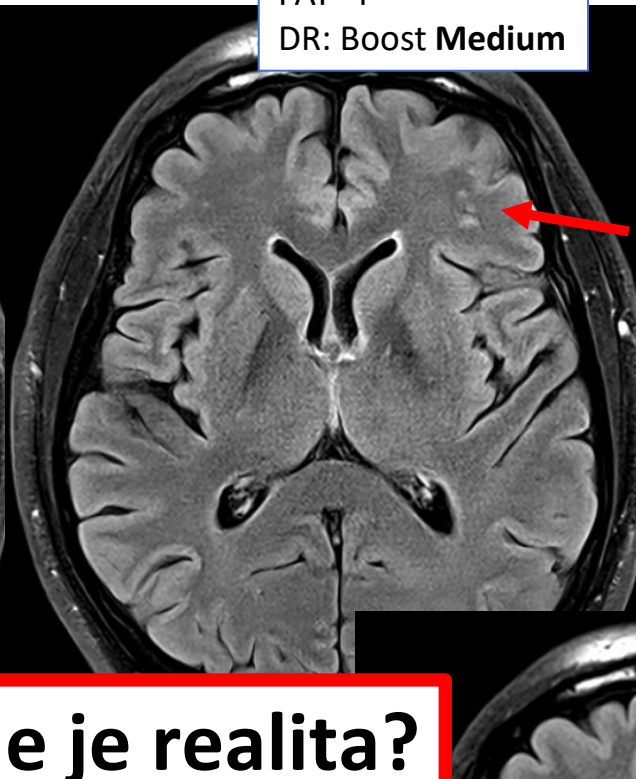
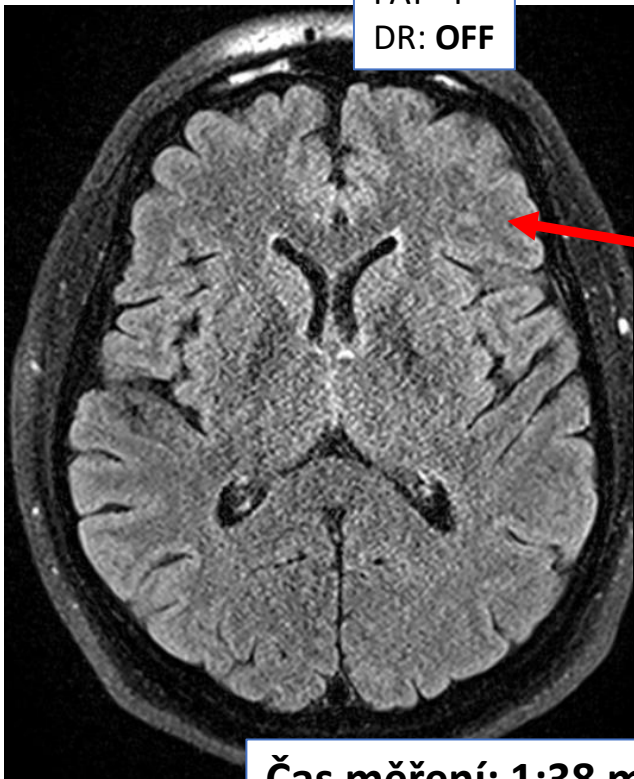


PAT=4  
DR: OFF

PAT=4  
DR: Boost Low

PAT=4  
DR: Boost Medium

PAT=4  
DR: Boost High

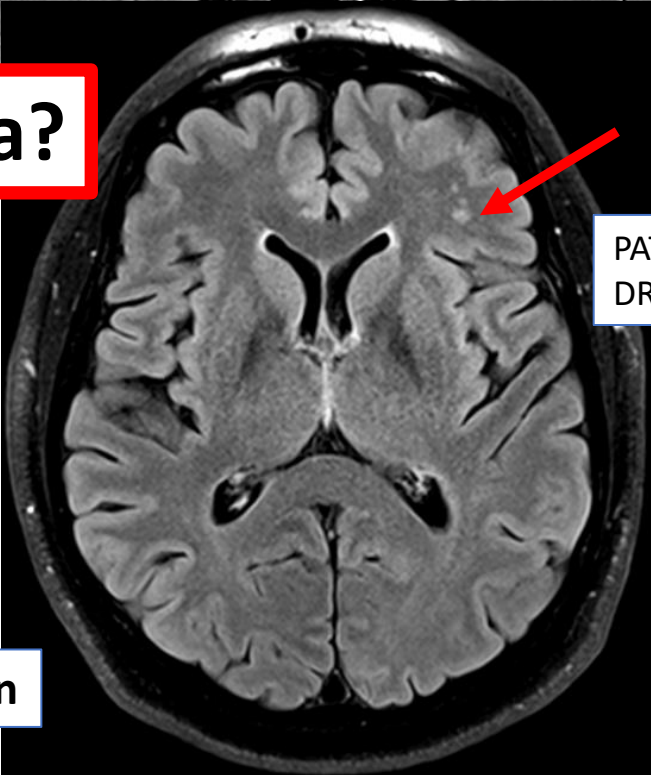


Čas měření: 1:38 min

**A tohle je realita?**

**T2-vážené FLAIR obrazy:**  
rozdílný stupeň potlačení šumu

3 T magnet

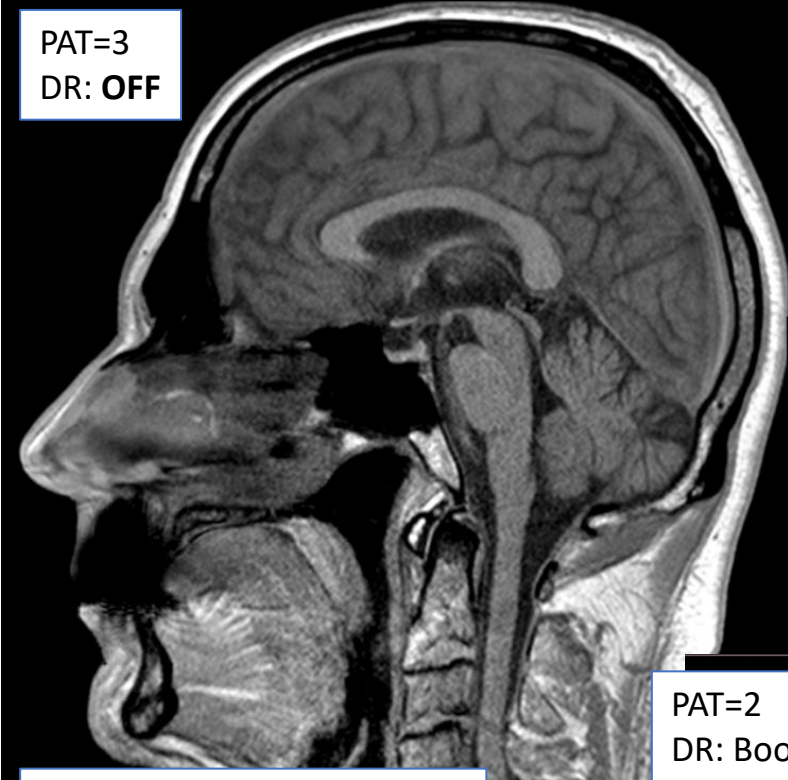


PAT=1  
DR: OFF

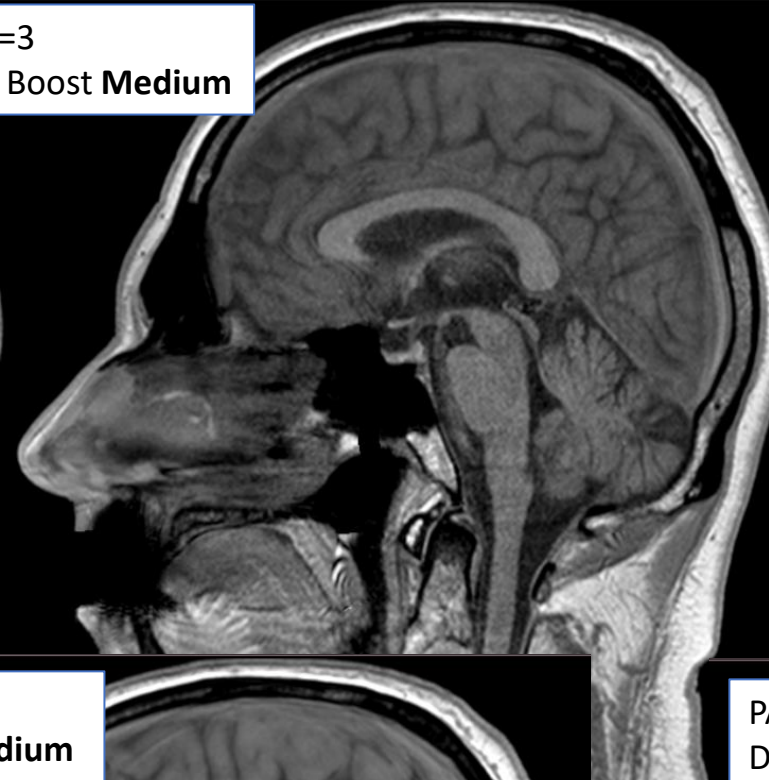
Čas měření: 4:34 min

KRF 2024

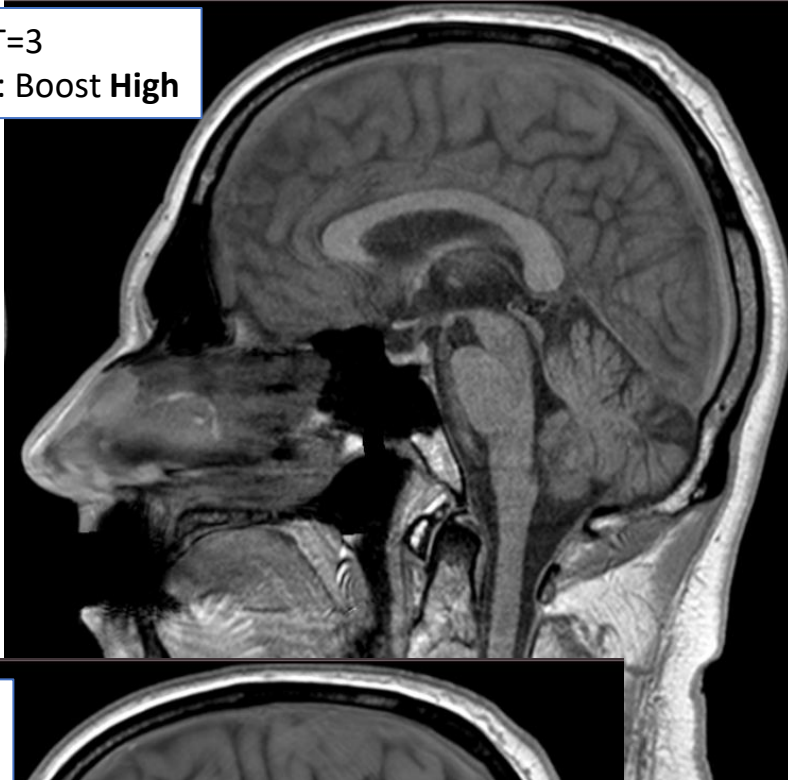
PAT=3  
DR: OFF



PAT=3  
DR: Boost Medium

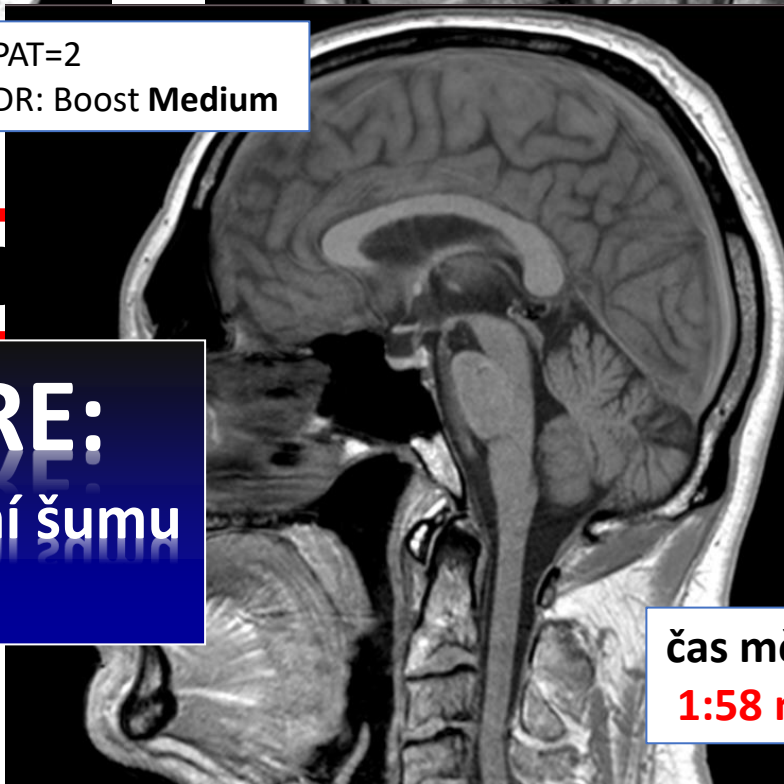


PAT=3  
DR: Boost High

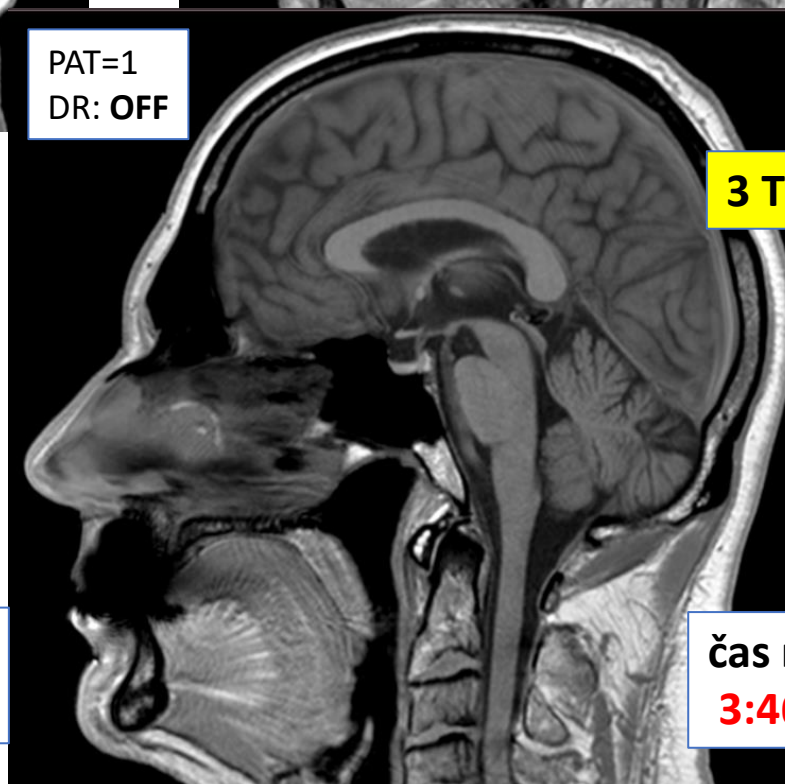


čas měření : 0:45 min

PAT=2  
DR: Boost Medium



PAT=1  
DR: OFF



3 T magnet

Je „denoising“ efek

**T1-vážené GRE:**  
rozdílný stupeň potlačení šumu  
rozdílný akviziční čas

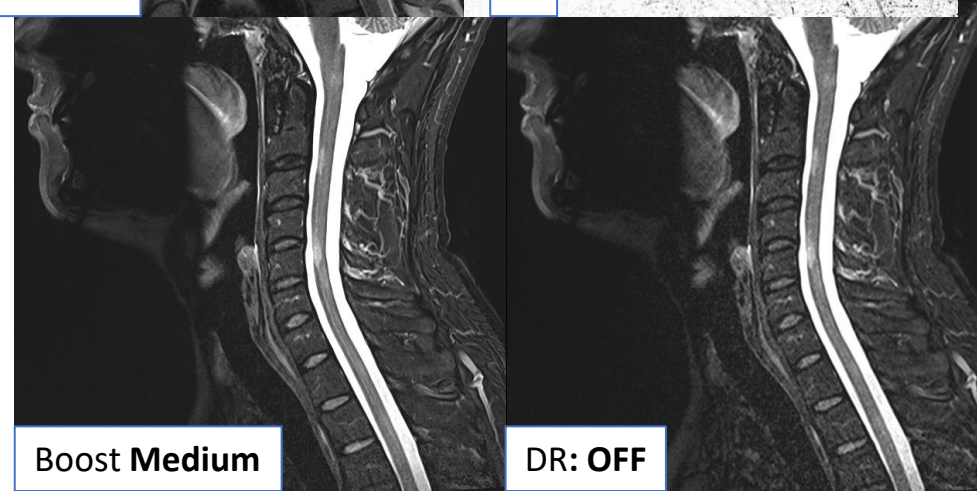
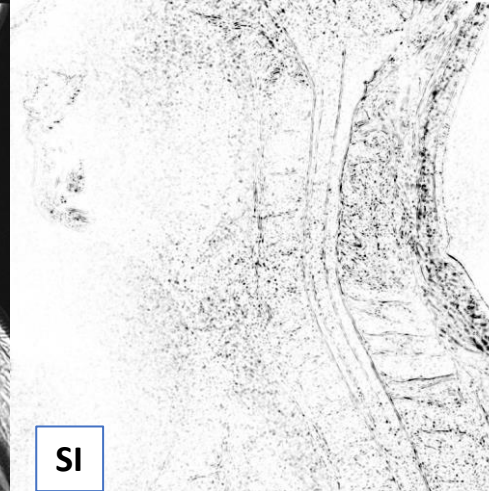
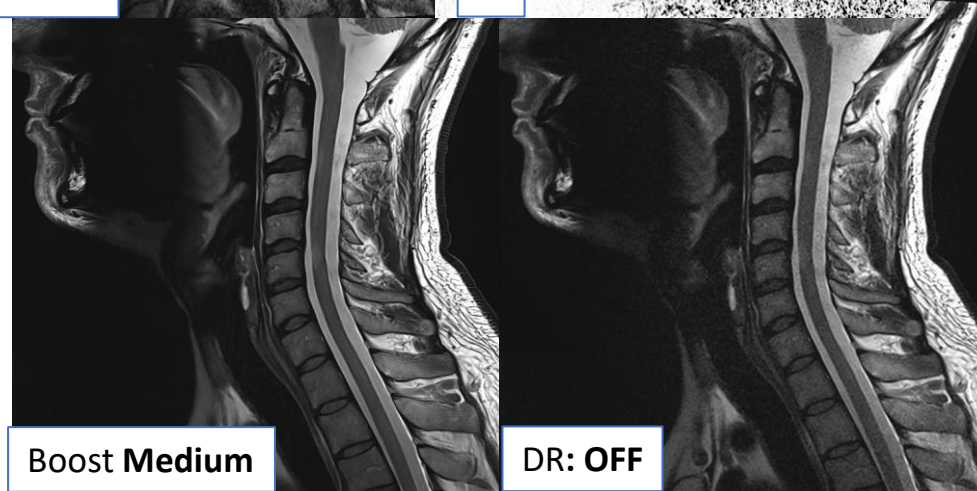
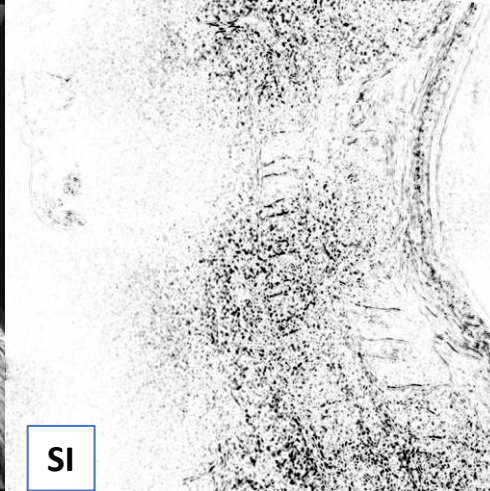
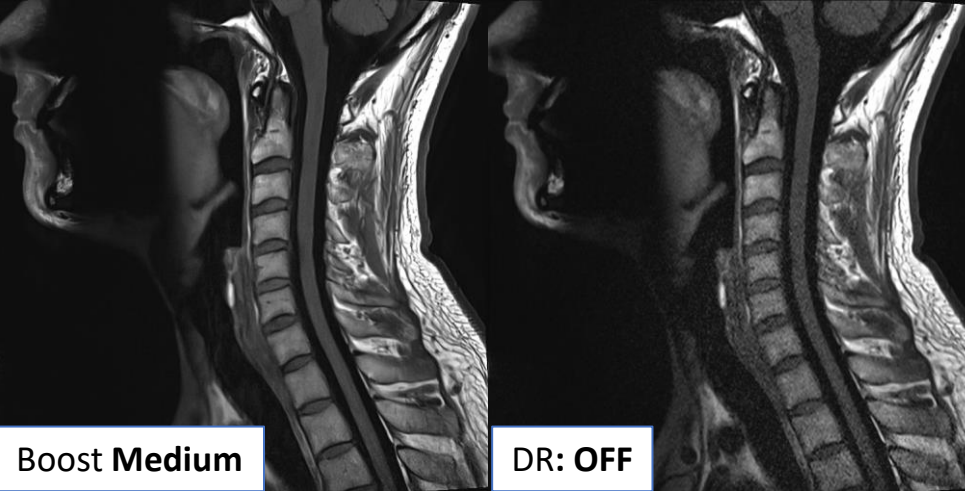
čas měření:  
1:58 min

čas měření:  
3:46 min

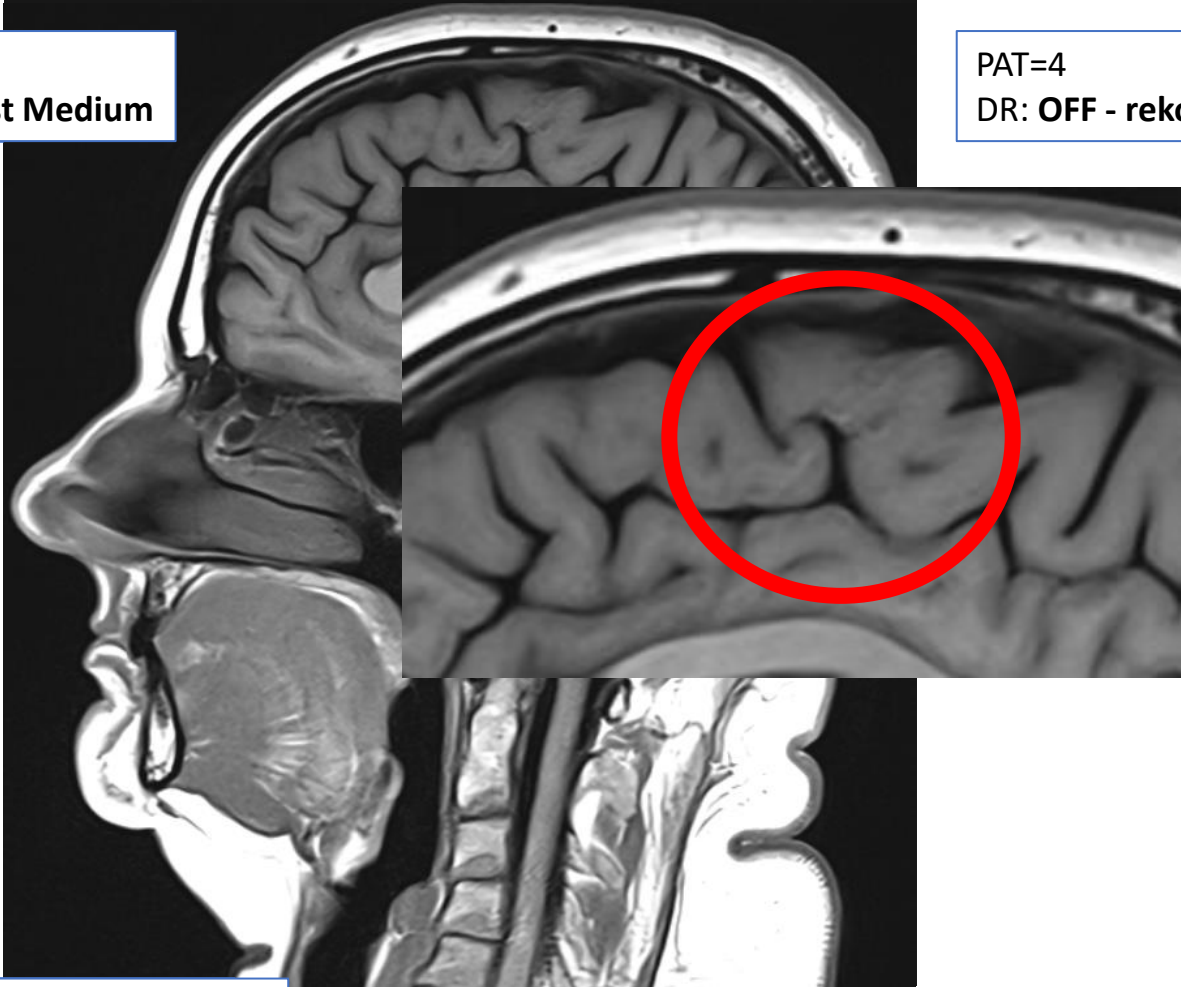


Jak jsou si podobná zdrojová  
a „vylepšená“ data?

Similarity Index (SI)



PAT=4  
DR: Boost Medium



PAT=4  
DR: OFF - rekonstrukce



1,5 T magnet

čas měření : 1:29 min

**T1-vážené  
Inversion Recovery**

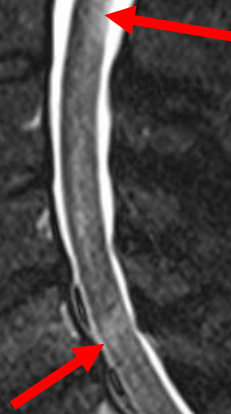
**Že by neměla vždycky pravdu???**

KRF 2024



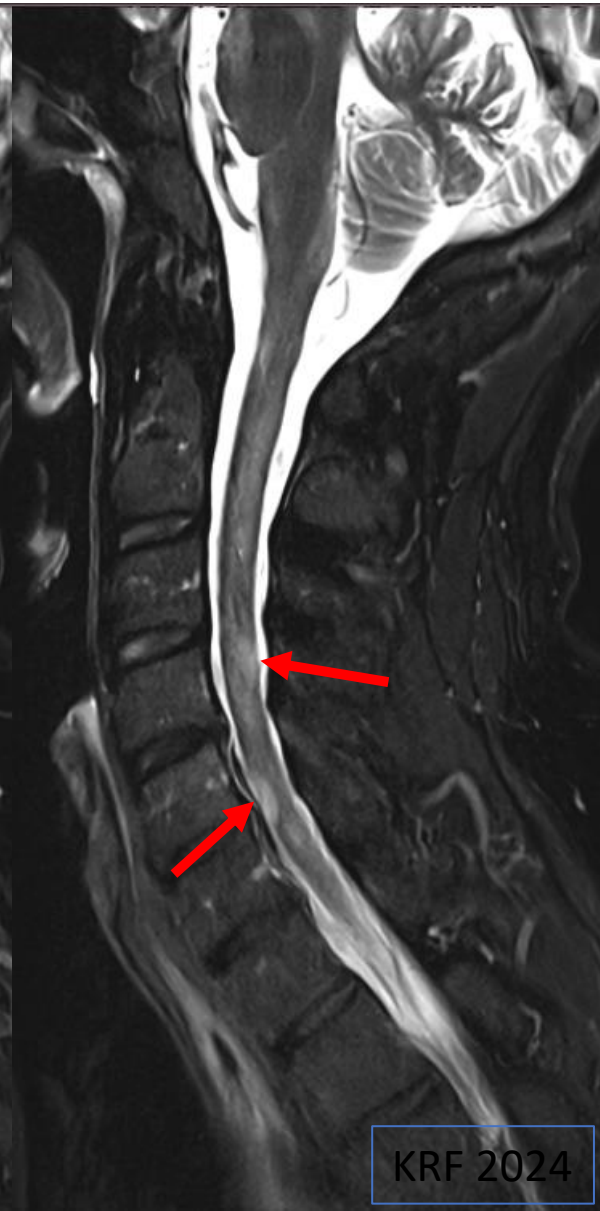
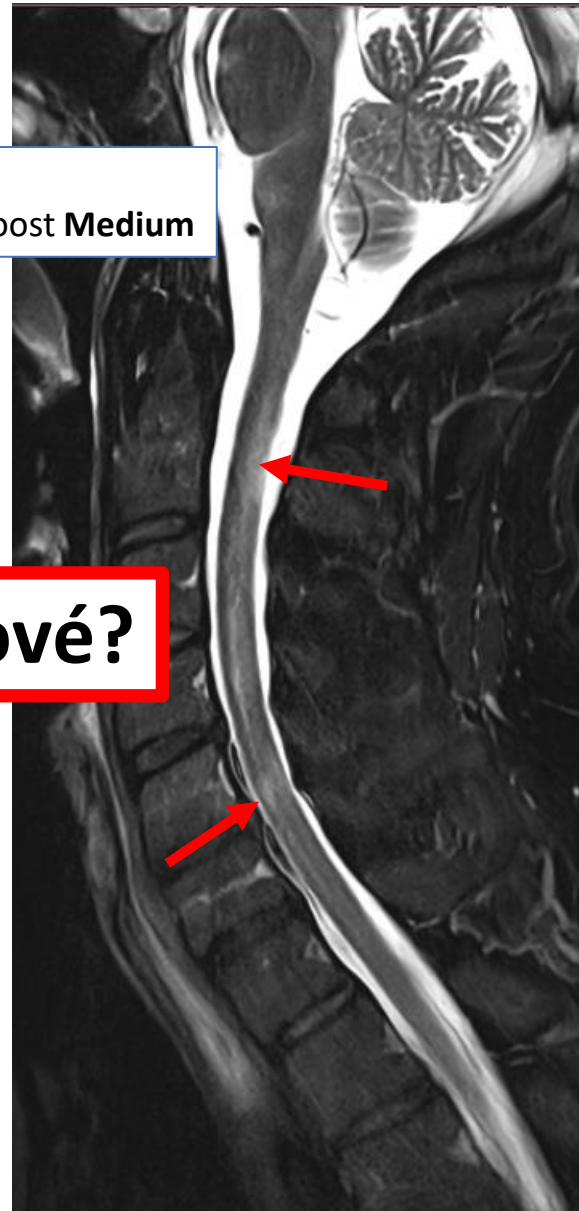
# T2-vážené STIR obrázky: pacient s RS

PAT=4  
DR: OFF

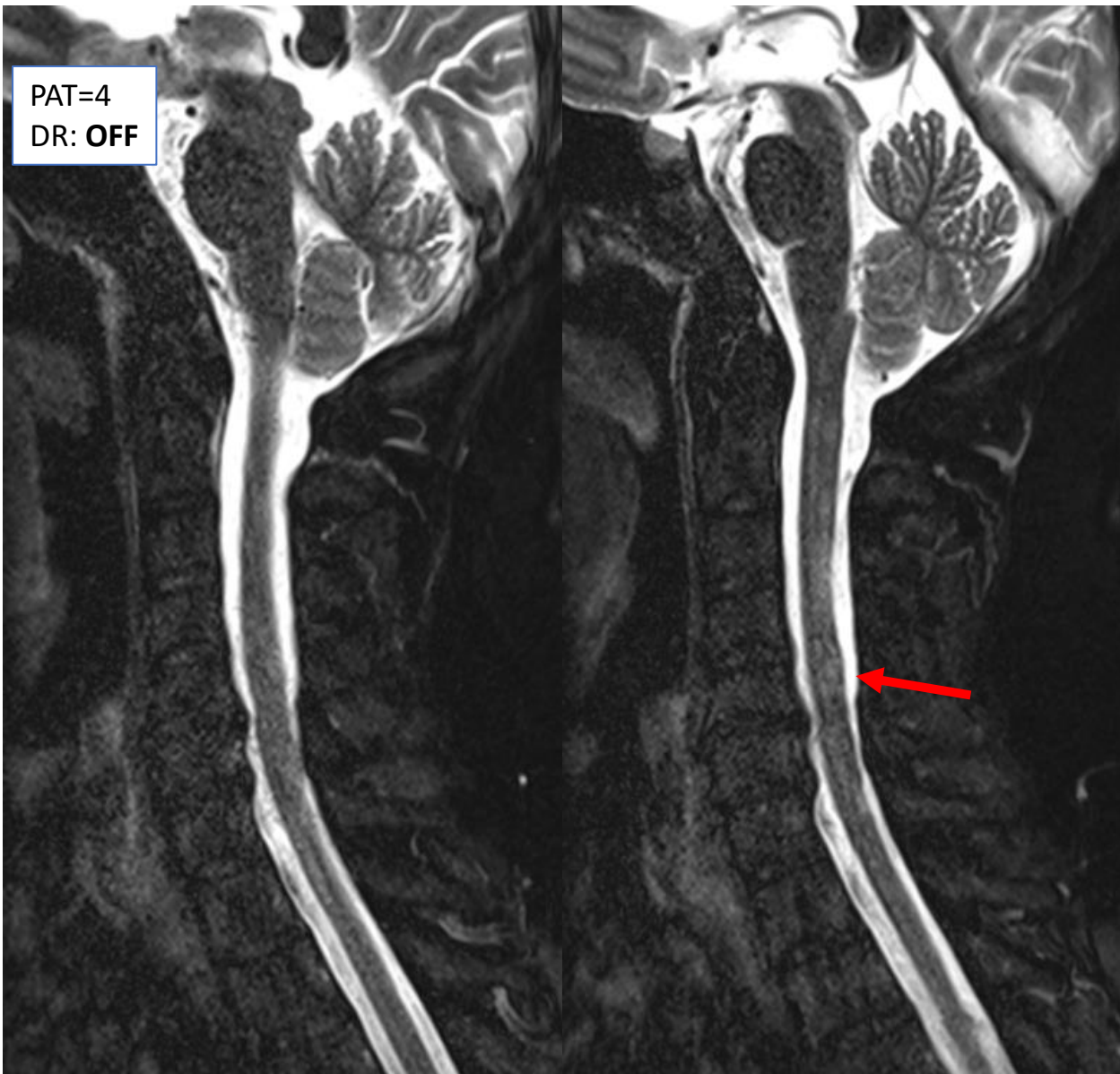


PAT=4  
DR: Boost Medium

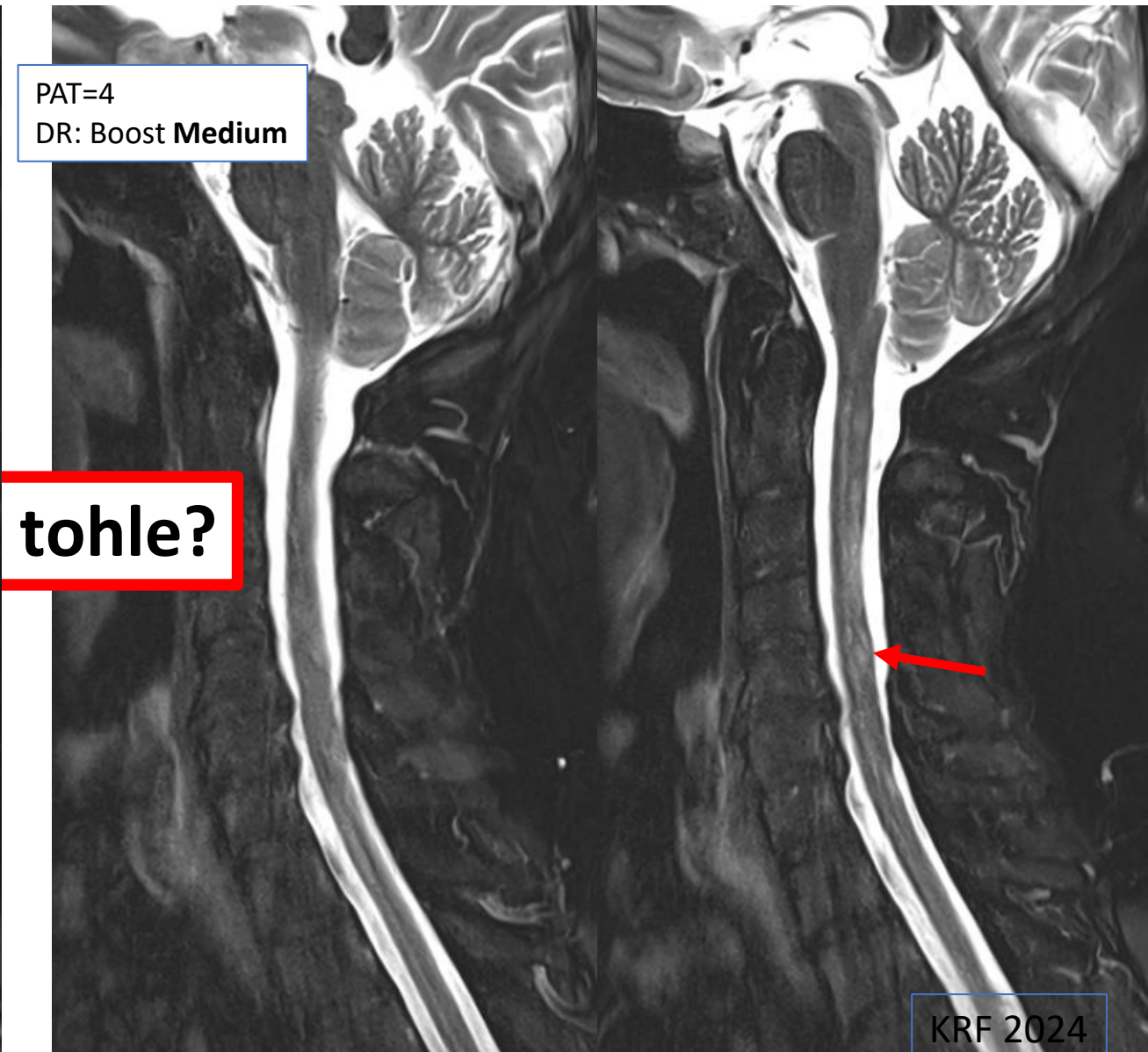
avdové?



# T2-vážené STIR obrazy: : pacient s RS



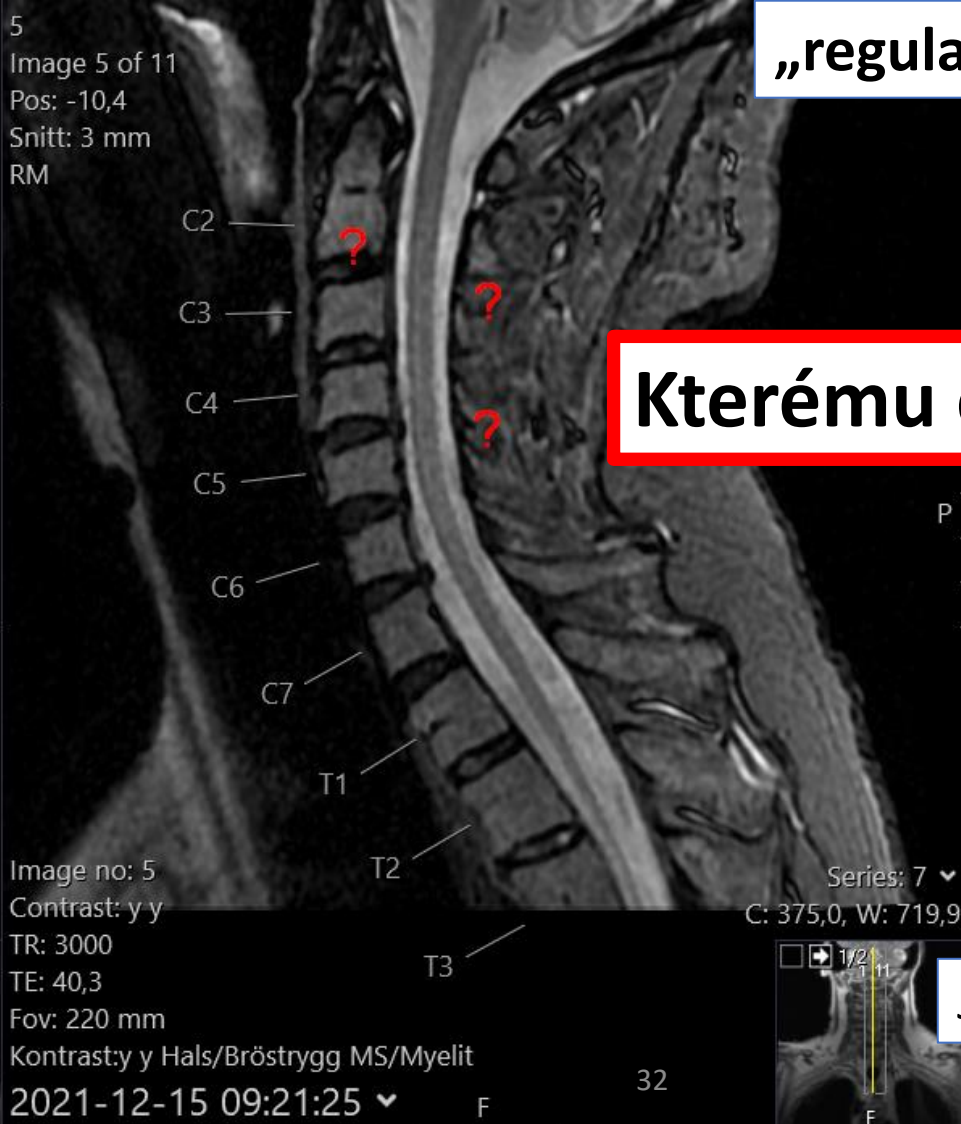
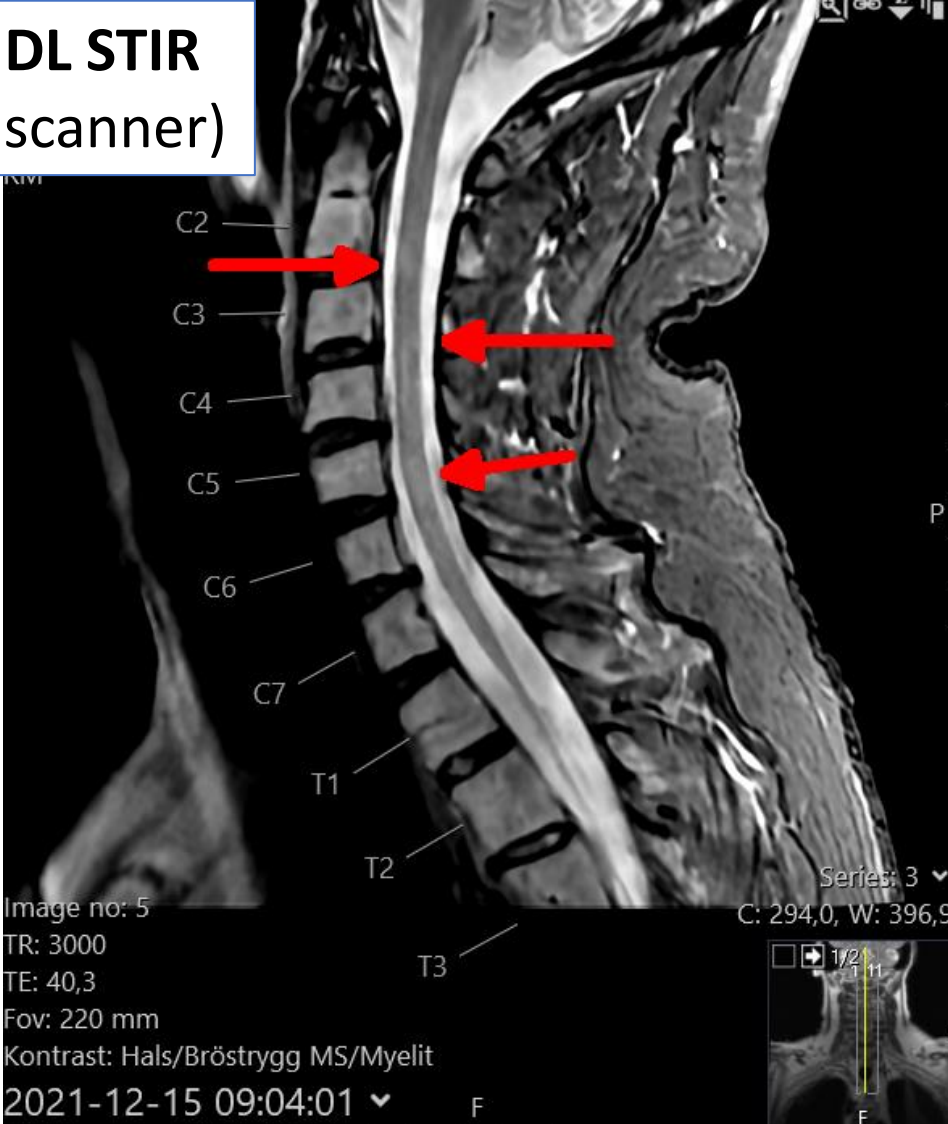
tohle?





# T2-vážené STIR obrazy: : pacient s RS

AIR DL STIR  
(GE scanner)



„regular“ reconstruction

Kterému obrazu věřit?

Jan Žižka

KRF 2024



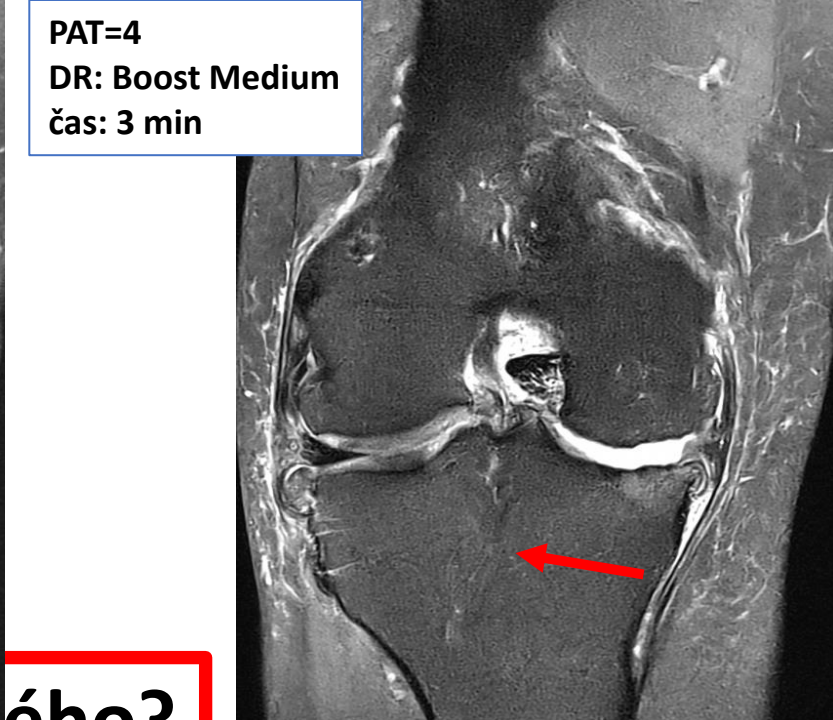
PAT=2  
DR: OFF  
čas: 6 min



Není v t



PAT=4  
DR: Boost Medium  
čas: 3 min



ého?



PAT=4  
DR: OFF



Ne!



1,5 T magnet

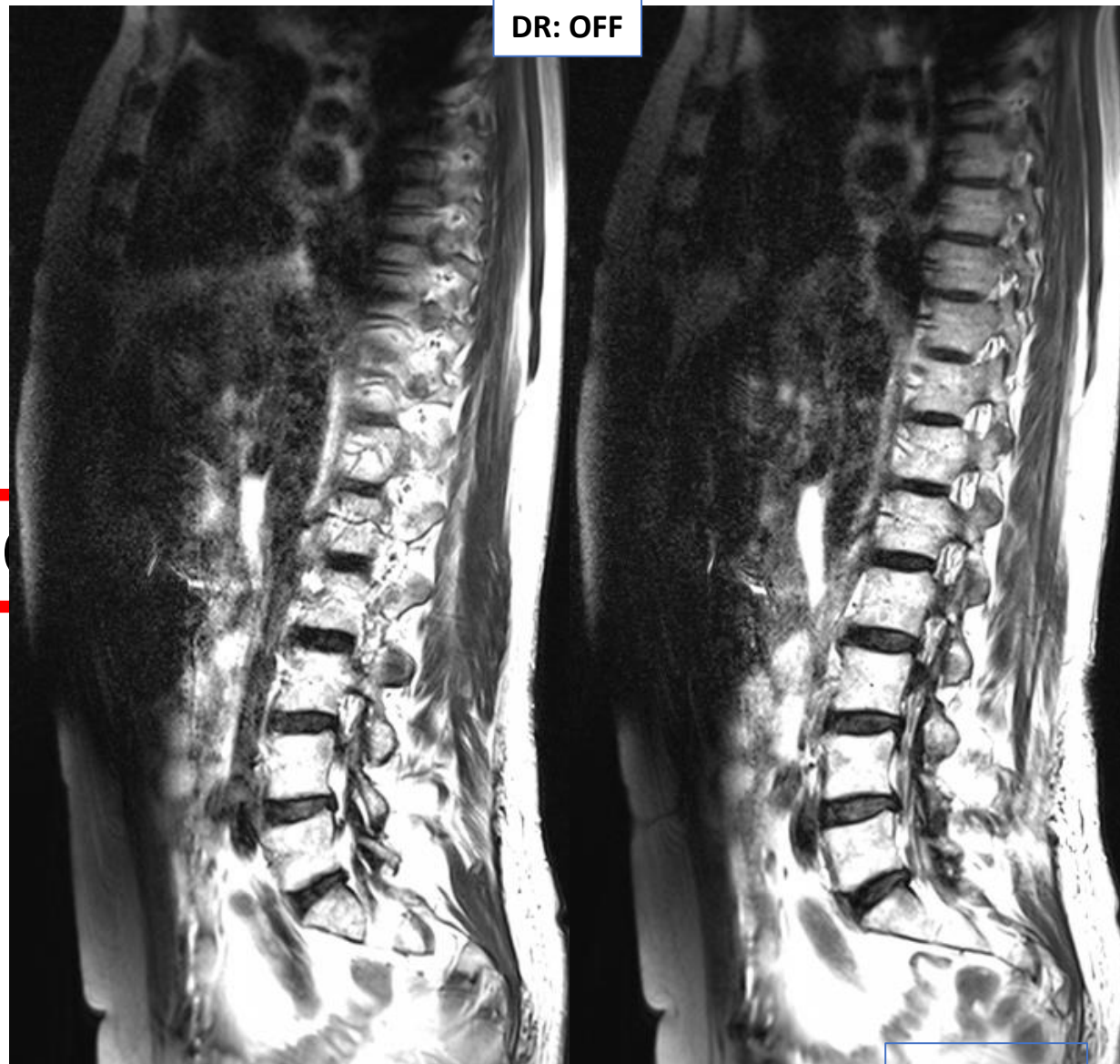
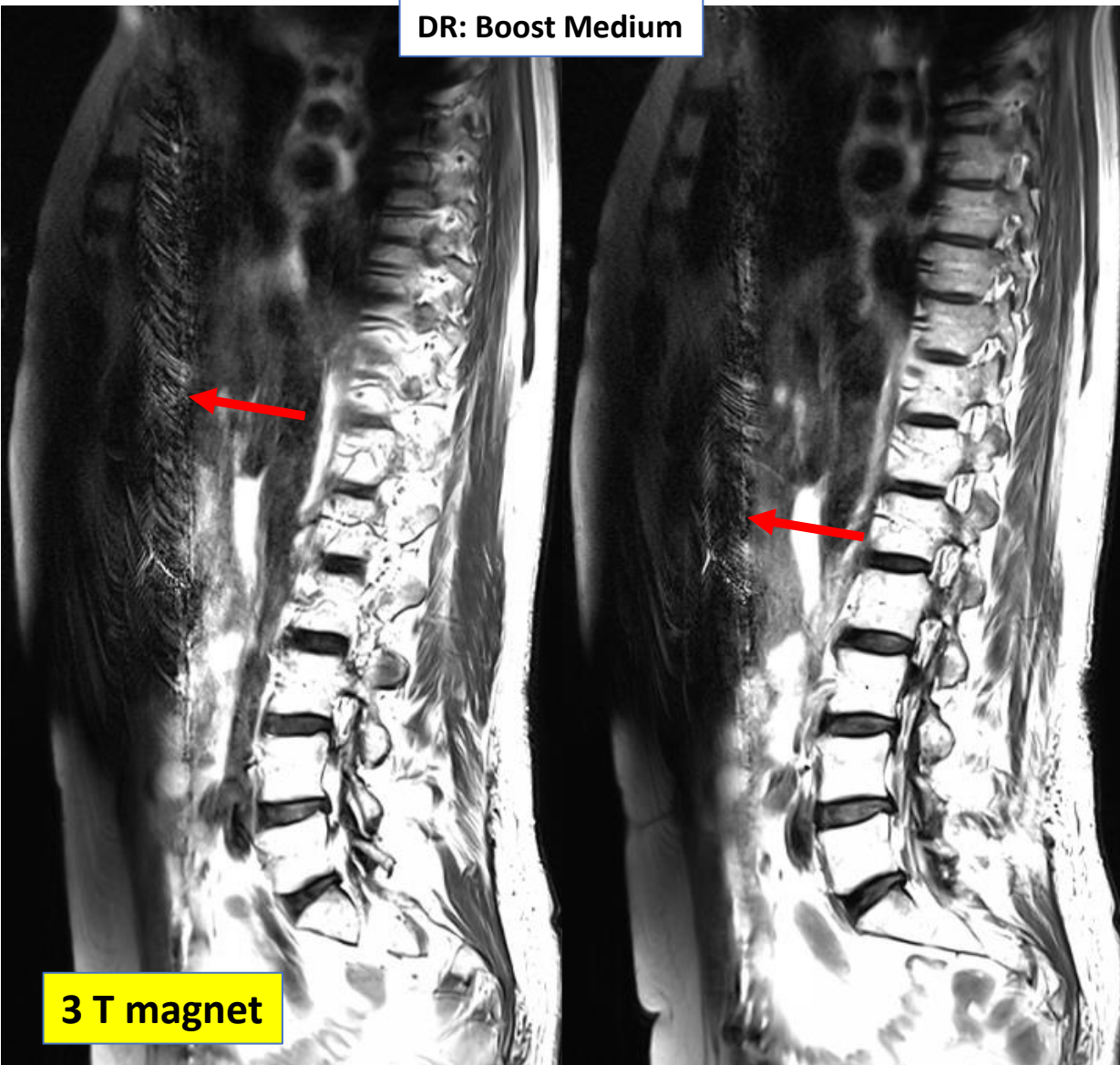
KRF 2024



# Umíme vždy vysvětlit, co v obrazu vidíme?

PAT=4  
DR: Boost Medium

PAT=4  
DR: OFF



3 T magnet

# Něco optimistického na závěr?

