



Kvantitativní MR zobrazování míchy

Ing. Jan Valošek, Ph.D.

Neurologická klinika, Lékařská fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci a Fakultní nemocnice Olomouc

68. ČESKÝ A SLOVENSKÝ SJEZD KLINICKÉ NEUROFYZIOLOGIE

Škola funkčního zobrazování (sekce HUBRAM)

Pardubice, 21.10.2022

Deklarace konfliktu zájmů

- Nemám žádné konflikty zájmu

Osnova

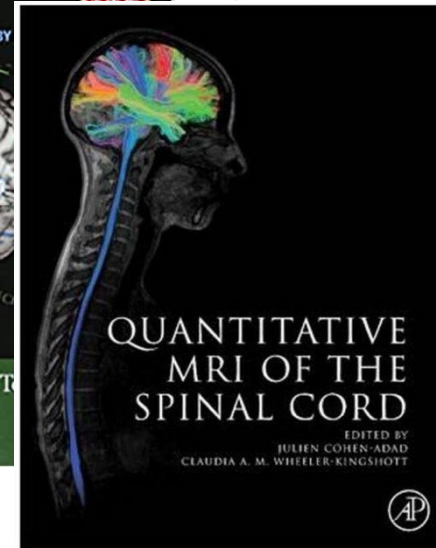
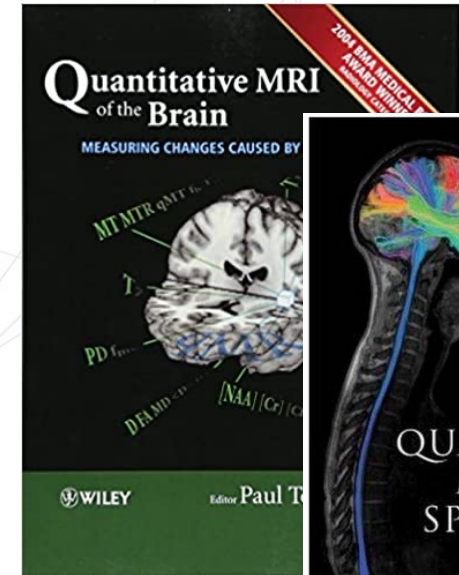
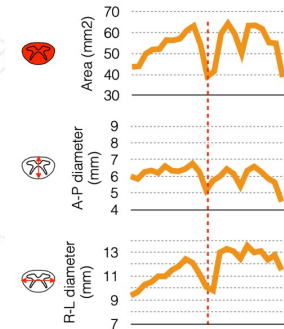
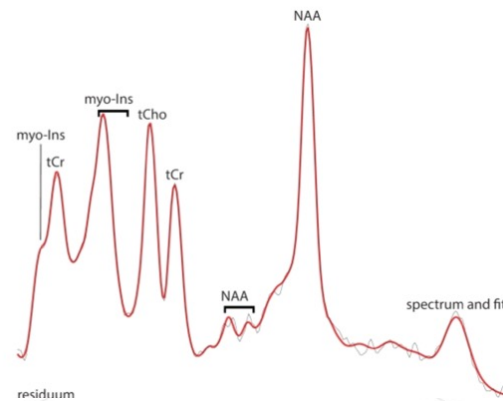
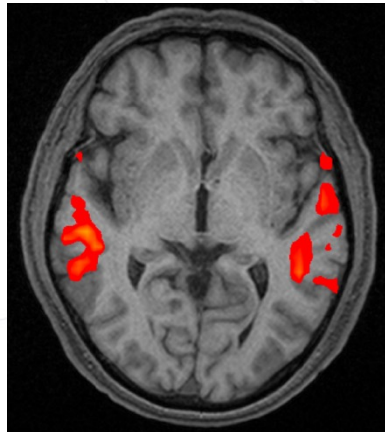
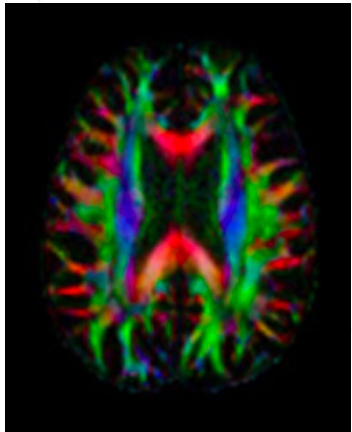
1. Úvod
2. Zpracování dat
3. Aplikace

Osnova

1. Úvod
2. Zpracování dat
3. Aplikace

Co je kvantitativní MR?

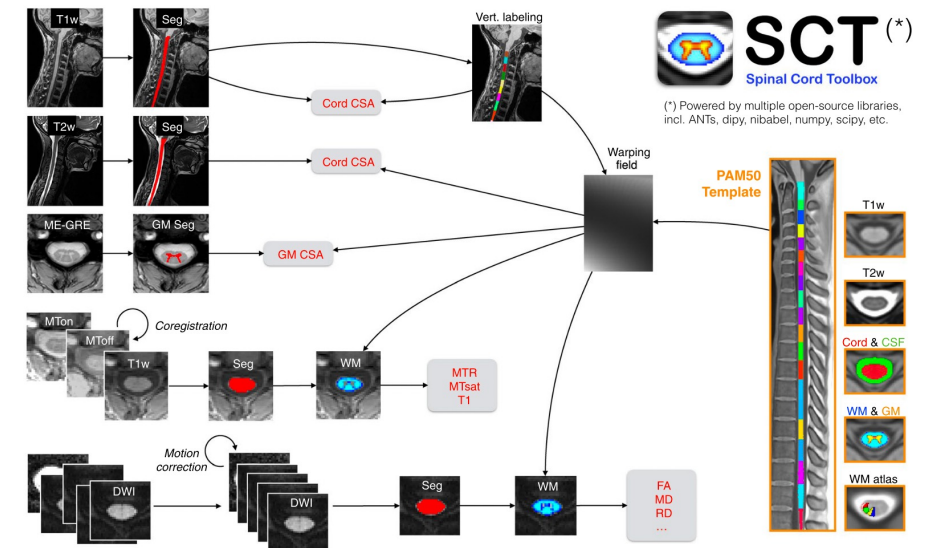
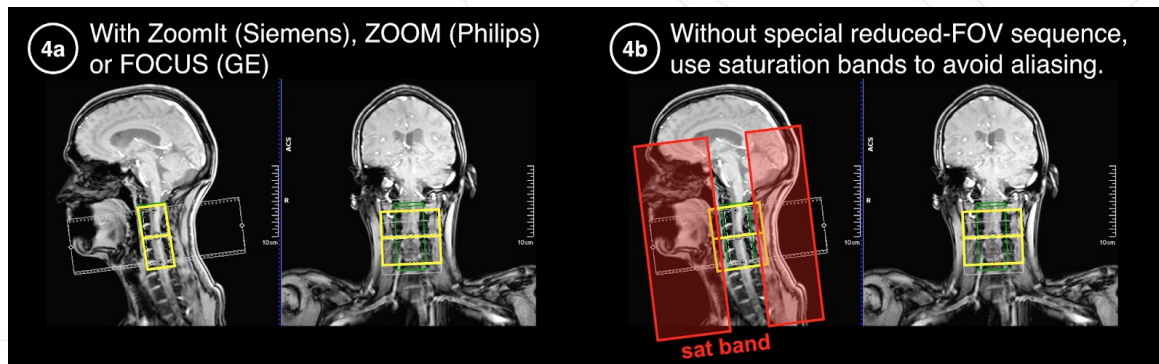
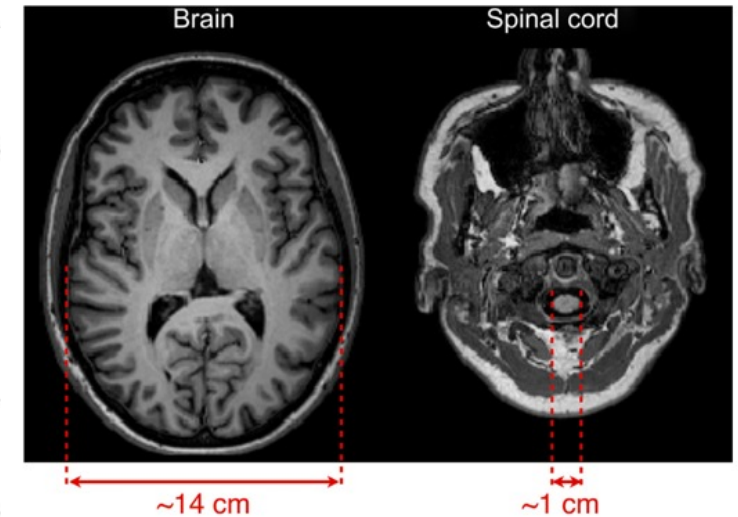
- Kvantitativní MR (anglicky quantitative MRI, qMRI) poskytuje informace o mikrostrukturálních vlastnostech, funkci a metabolismu tkání
- Běžně používané kvantitativní techniky:
 - Difúzně-vážené MR zobrazování (DWI / dMRI)
 - Funkční MR zobrazování (fMRI)
 - MR spektroskopie (MRS)
 - Metriky extrahované z makrostrukturálních dat



MR zobrazování míchy

- Náročnější než MR mozku
 - Menší velikost míchy
 - Nehomogenity magnetického pole
 - Fyziologický pohyb (dýchání, pulsace CSF)

→ Potřeba využití optimalizovaných sekvencí a pokročilého zpracování



Jaké sekvence tedy použít?

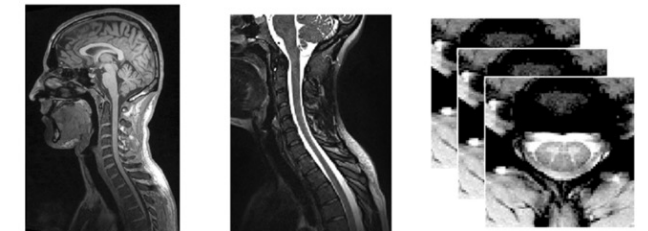
- Prospektivně harmonizovaný kvantitativní MR protokol, tzv. *spine-generic*
- Makrostrukturální (T1w, T2w, T2*w) i mikrostrukturální (MT, DWI) sekvence

	GE	Philips	Siemens
T1w (3D)	BRAVO/IR-FSPGR	T1TfE	MPRAGE
T2w (3D)	CUBE	VISTA	SPACE
DWI (2D)	Spin Echo EPI with or without FOCUS*	Zoom Diffusion*	ep2d_diff with or without ZOOMit*
ME-GRE (2D)	MERGE	mFFE	GRE 'medic'
GRE-MT1/MT0/ T1w (3D)	SPGR	FFE	GRE

- Volně dostupný a jednoduše importovatelný pro skenery Siemens, GE i Philips:
<https://github.com/spine-generic/protocols>

Generic acquisition protocol for quantitative MRI of the spinal cord

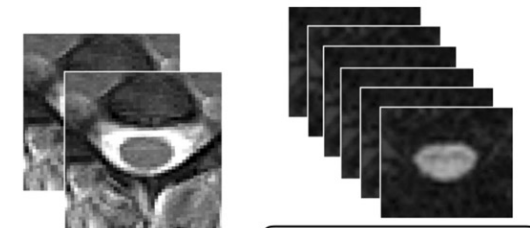
Julien Cohen-Adad^{1,2,3}, Eva Alonso-Ortiz¹, Mihael Abramovic⁴, Carina Arneitz⁴,



T1w (3D) 1 mm
- Brain and spine

T2w (3D) 0.8 mm
- Cord atrophy

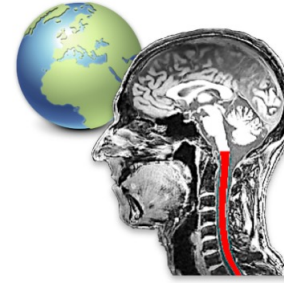
ME-GRE (2D)
- Gray matter atrophy



Magnetization transfer
- Demyelination in WM

Diffusion-weighted imaging
- Demyelination in WM
- Axon degeneration

Open-access dataset



scientific **data**

- 2 volně dostupné datasety:
 - Multi-subject dataset – 42 center, 260 subjektů
 - Single-subject dataset – 19 center, 1 subjekt
- Organizované dle BIDS standardu
- Volně ke stažení: <https://github.com/spine-generic>

OPEN
DATA DESCRIPTOR

Open-access quantitative MRI data of the spinal cord and reproducibility across participants, sites and manufacturers

Julien Cohen-Adad et al.*



```
data-multi-subject
├── dataset_description.json
├── participants.json
├── participants.tsv
├── sub-ubc01
├── sub-ubc02
├── sub-ubc03
├── sub-ubc04
├── sub-ubc05
├── sub-ubc06
├── anat
│   ├── sub-ubc06_T1w.json
│   ├── sub-ubc06_T1w.nii.gz
│   ├── sub-ubc06_T2star.json
│   ├── sub-ubc06_T2star.nii.gz
│   ├── sub-ubc06_T2w.json
│   ├── sub-ubc06_T2w.nii.gz
│   ├── sub-ubc06_acq-MToff_MTS.json
│   ├── sub-ubc06_acq-MToff_MTS.nii.gz
│   ├── sub-ubc06_acq-MTon_MTS.json
│   ├── sub-ubc06_acq-MTon_MTS.nii.gz
│   ├── sub-ubc06_acq-T1w_MTS.json
│   └── sub-ubc06_acq-T1w_MTS.nii.gz
├── dwi
│   ├── sub-ubc06_dwi.bval
│   ├── sub-ubc06_dwi.bvec
│   ├── sub-ubc06_dwi.json
│   ├── sub-ubc06_dwi.nii.gz
│   ├── (sub-ubc06_acq-b0_dwi.json)
│   └── (sub-ubc06_acq-b0_dwi.nii.gz)
```

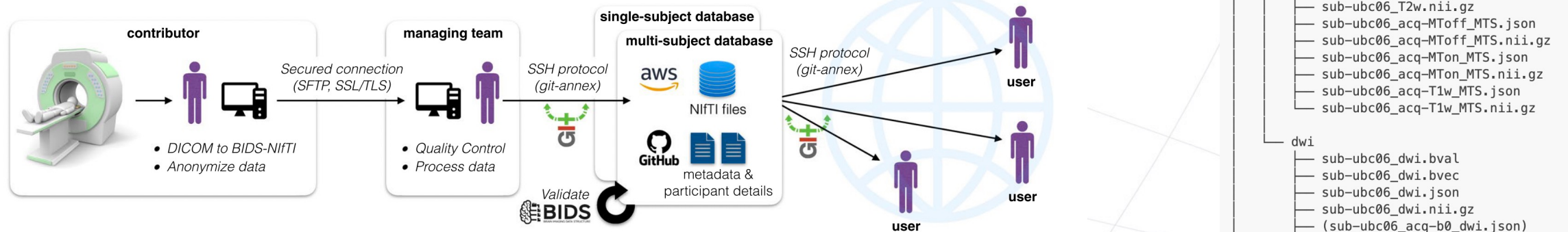


Fig. 2 Illustration of the dataset management, from acquisition to end-user consumption.

Open-access analýza

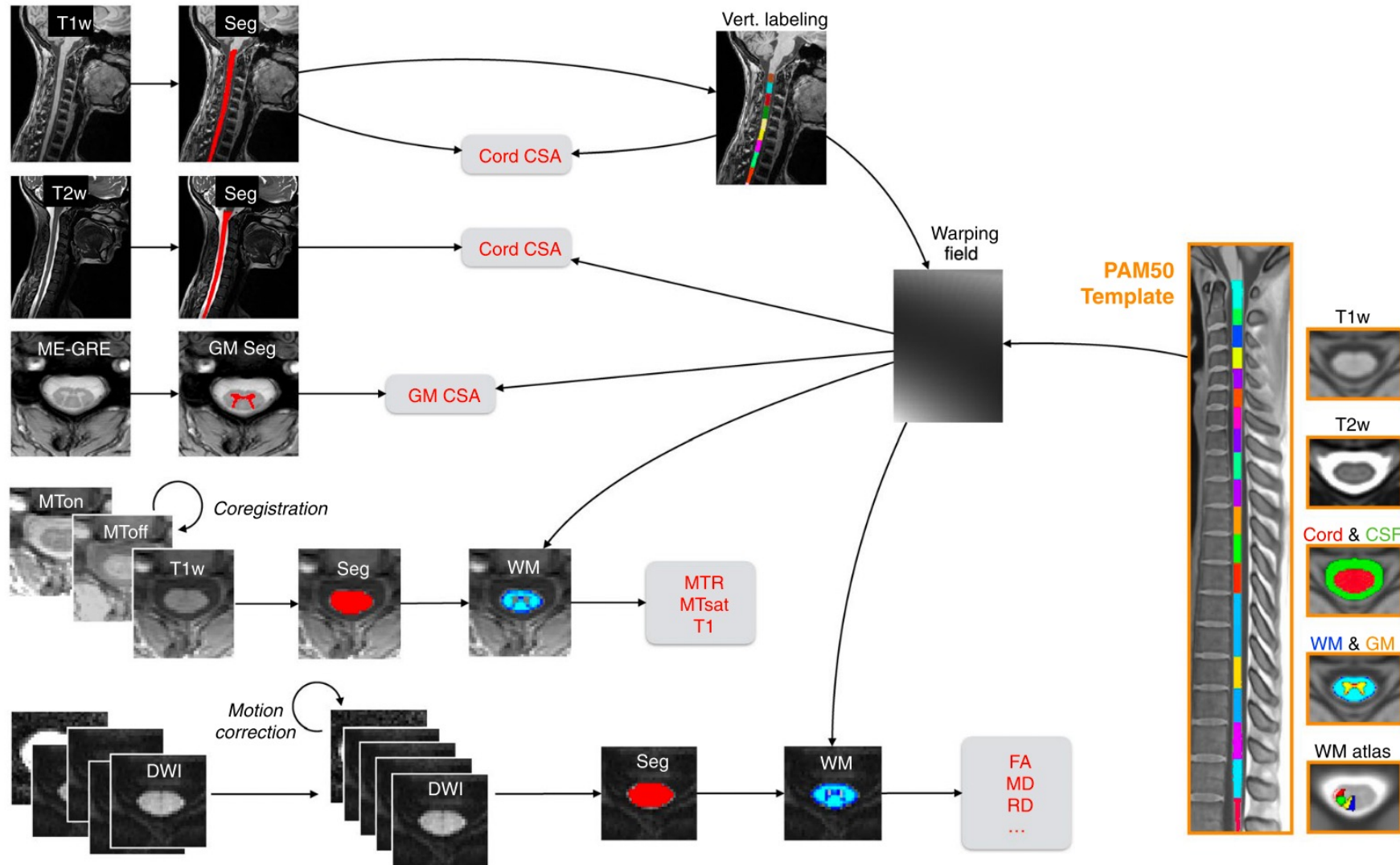
- Analýza datasetů byla provedena skripty, které jsou zveřejněny jako open-access: <https://github.com/spine-generic>
- Výsledky jsou dostupné online ve formě interaktivních grafů



python™



Open-access analýza



Osnova

1. Úvod
2. Zpracování dat
3. Aplikace

Jak analyzovat MR data krční míchy?

- Existuje mnoho nástrojů pro analýzu MR dat mozku



FreeSurfer



- Jaký nástroj používat pro analýzu MR dat míchy?



SCT
Spinal Cord Toolbox

Spinal Cord Toolbox (SCT)



= Volně dostupný nástroj pro analýzu MR dat míchy

- Dostupný pro MacOS, Linux i Windows (via Docker)
- Aktivně vyvíjen *NeuroPoly* laboratoří, Polytechnique Montréal, Kanada
- Napsán primárně v pythonu a C++
- Vyvíjen jako open-source, dostupný: <https://github.com/spinalcordtoolbox/spinalcordtoolbox>



SCT: Spinal Cord Toolbox, an open-source software for processing spinal cord MRI data



Benjamin De Leener^a, Simon Lévy^{a,b}, Sara M. Dupont^a, Vladimir S. Fonov^c, Nikola Stikov^{a,d}, D. Louis Collins^c, Virginie Callot^{e,f}, Julien Cohen-Adad^{a,b,*}

^a NeuroPoly Lab, Institute of Biomedical Engineering, Polytechnique Montreal, Montreal, QC, Canada

^b Functional Neuroimaging Unit, CRIUGM, Université de Montréal, Montreal, QC, Canada

^c Montreal Neurological Institute, McGill University, Montreal, QC, Canada

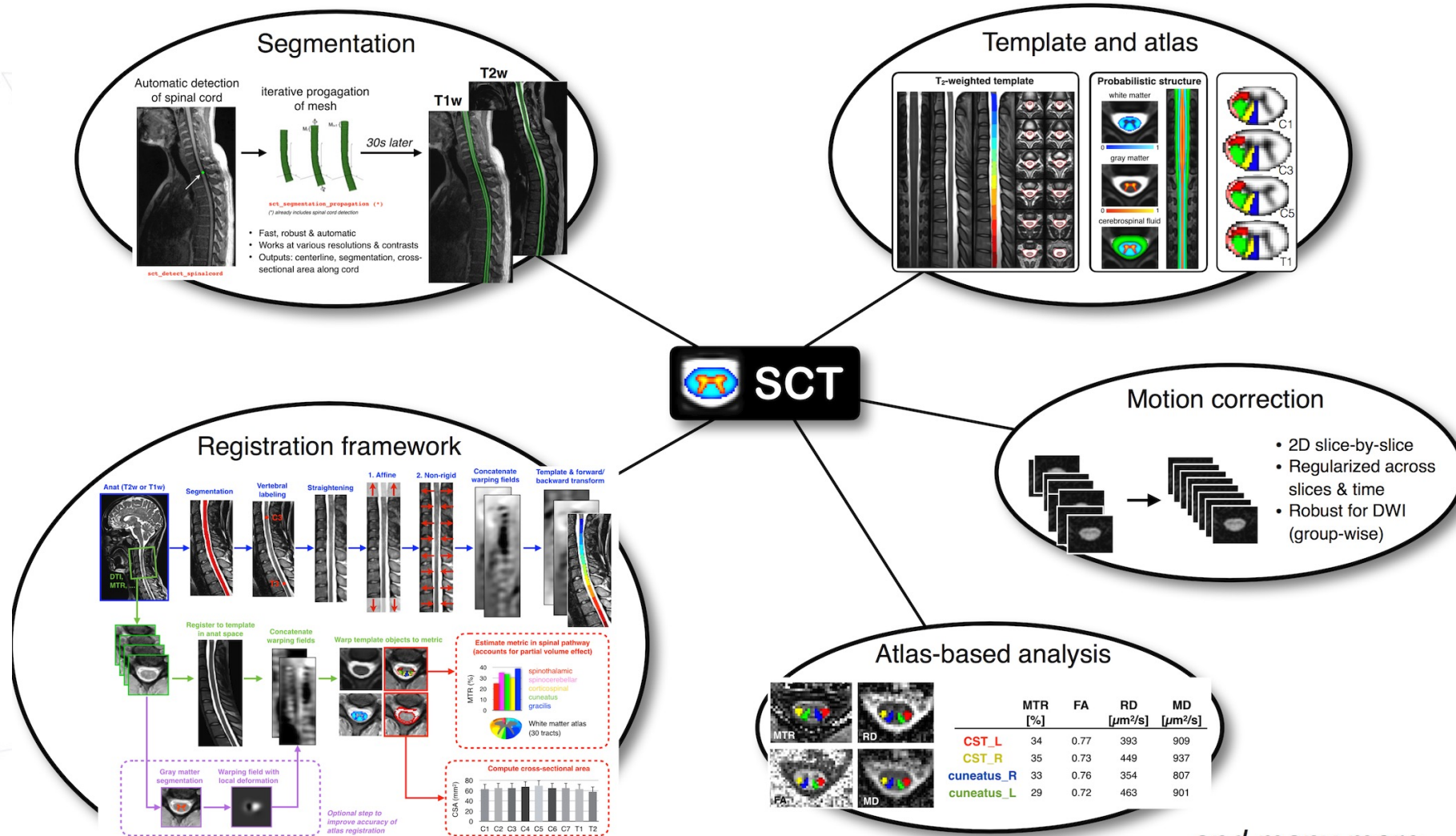
^d Montreal Heart Institute, Montreal, QC, Canada

^e Aix-Marseille Université, CNRS, CRMBM UMR 7339, Marseille, France

^f AP-HM, Hopital de la Timone, Pôle d'imagerie médicale, CEMEREM, Marseille, France



Spinal Cord Toolbox (SCT)

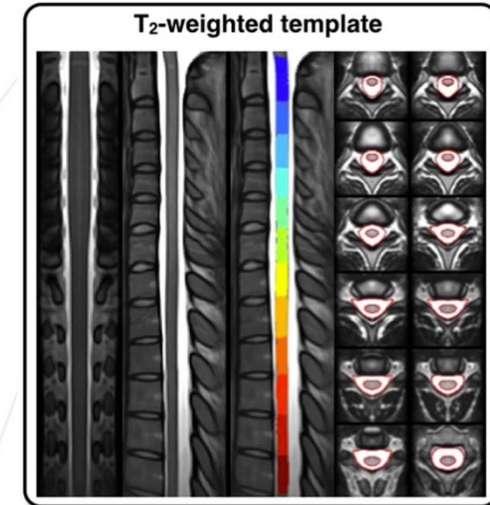
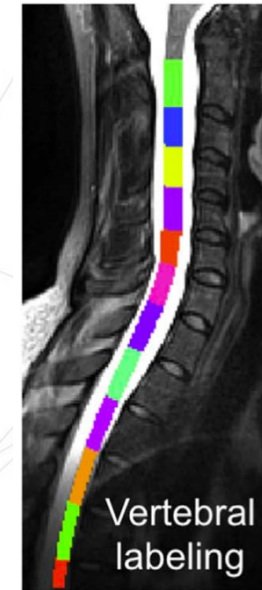
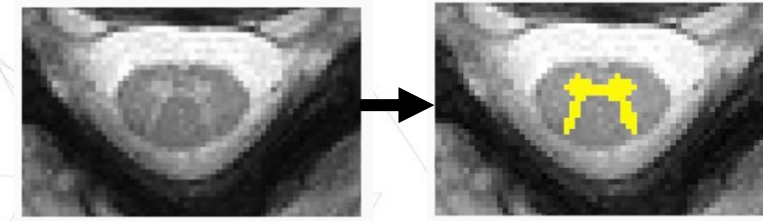


and many more features...

Spinal Cord Toolbox (SCT) – nástroje

SCT obsahuje nástroje pro:

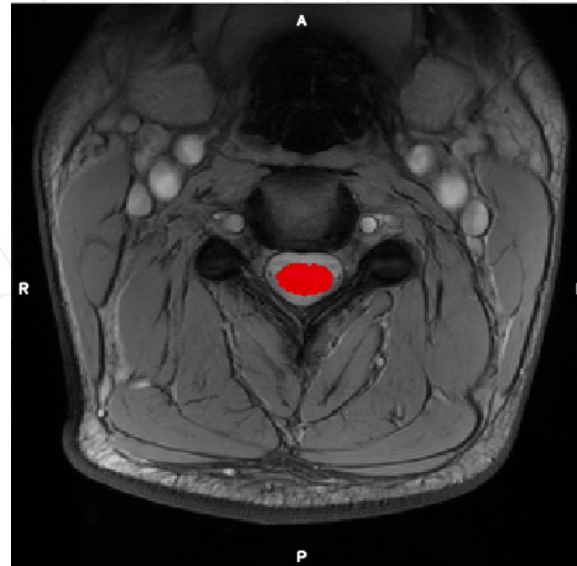
- Segmentaci míchy, šedé hmoty a lézí u RS
- Automatické detekce úrovní obratlů
- Standardní šablonu a atlas míchy
- Lícování/registraci:
 - Registrace na standard
 - Multi-modální registrace (např. DWI → T2*-w)
- Zpracování DWI a MT dat
- A mnoho dalších



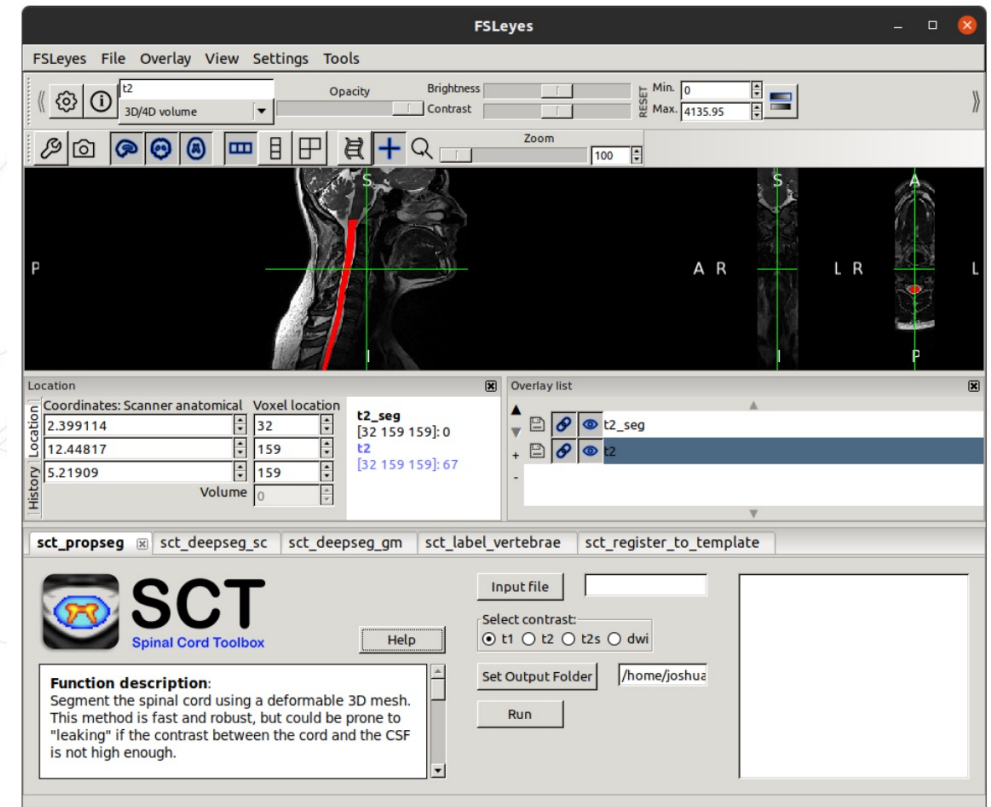
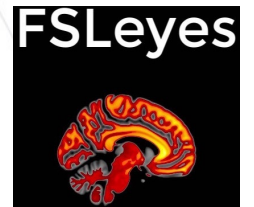
Spinal Cord Toolbox (SCT) – rozhraní

Terminál / příkazová řádka
(= command line interface, CLI)

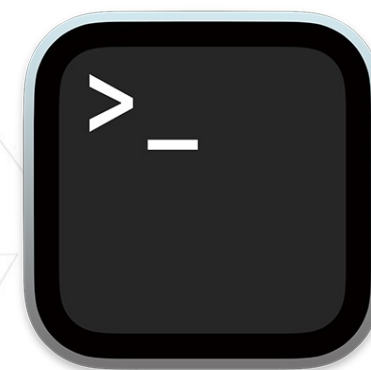
```
valosek — zsh — 98x11  
valosek@macbook-pro:~$ sct_deepseg_sc -i sub-brnoCeitec01_T2star.nii.gz -c t2s
```



FSLeyes integrace



Terminál



- = alternativní (a mnohdy rychlejší a efektivnější cesta), jak ovládat počítač, spouštět procesy a manipulovat se soubory
- Stejné chování skrze Linux a MacOS
- Není potřeba být hacker, stačí pár základních příkazů:

```
pwd  
cd dir_name  
cd ..  
ls
```

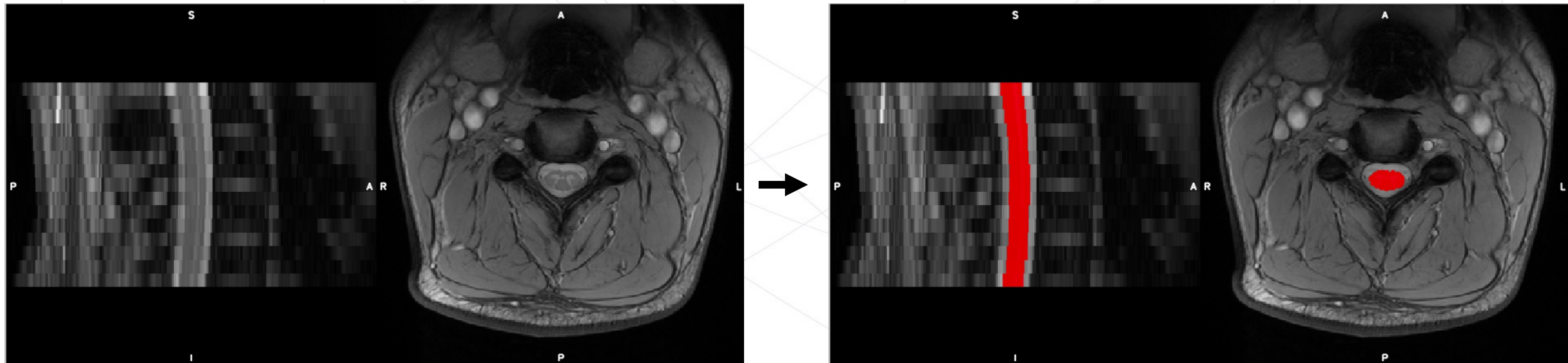
```
check which directory you are in  
go to another directory  
go to the previous directory  
list files in the current directory
```

```
valosek — -zsh — 85x20  
[valosek@macbook-pro:~$ pwd  
/Users/valosek  
[valosek@macbook-pro:~$ cd vienna_example_data  
[valosek@macbook-pro:~/vienna_example_data$ ls  
sub-brnoCeitec01_T2star.nii.gz sub-brnoCeitec01_T2w.nii.gz  
[valosek@macbook-pro:~/vienna_example_data$ cd ..  
[valosek@macbook-pro:~$ echo $SCT_DIR  
/usr/local/sct  
[valosek@macbook-pro:~$ █
```

Segmentace míchy

- Ukázka segmenatace míchy z T2*-w snímku:

```
valosek — -zsh — 98x11  
valosek@macbook-pro:~$ sct_deepseg_sc -i sub-brnoCeitec01_T2star.nii.gz -c t2s
```



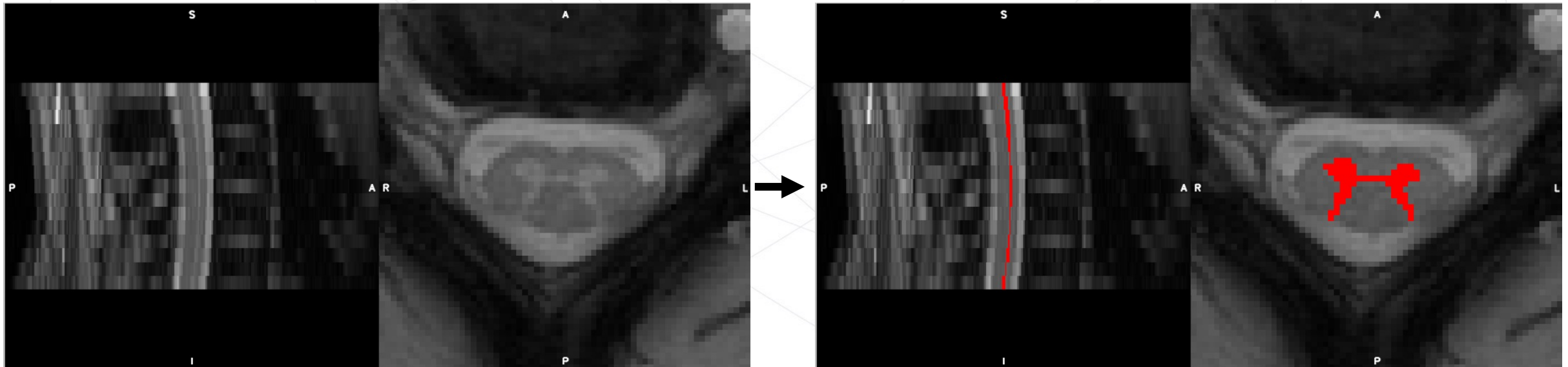
Segmentace GM



SCT
Spinal Cord Toolbox

- Ukázka segmenatace šedé hmoty z T2*-w snímku:

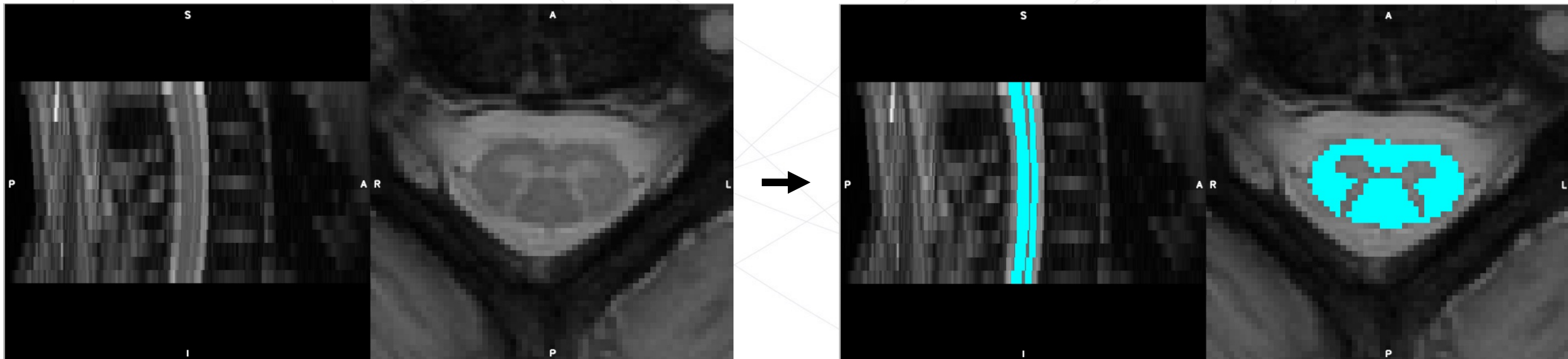
```
valosek — -zsh — 98x11  
valosek@macbook-pro:~$ sct_deepseg_gm -i sub-brnoCeitec01_T2star.nii.gz
```



Segmentace WM

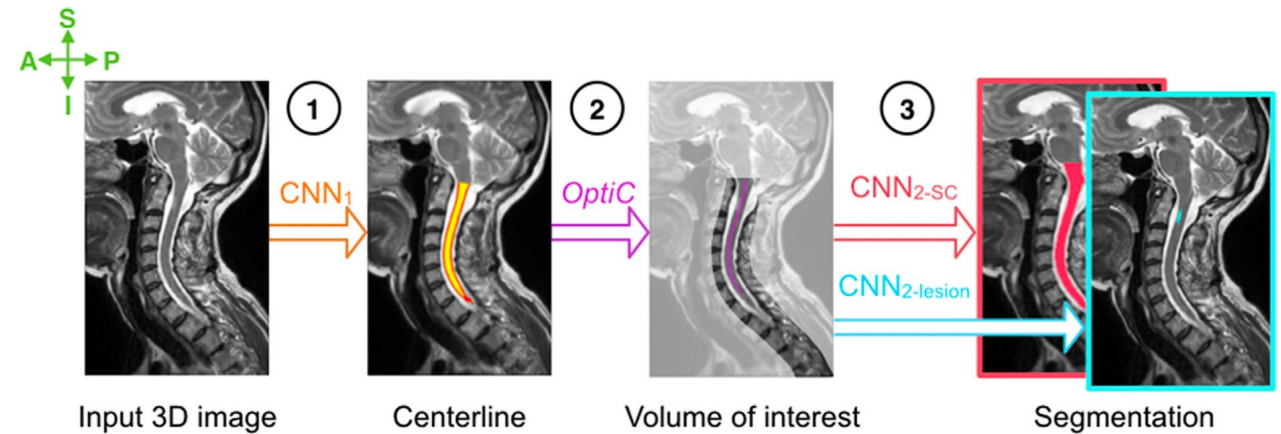
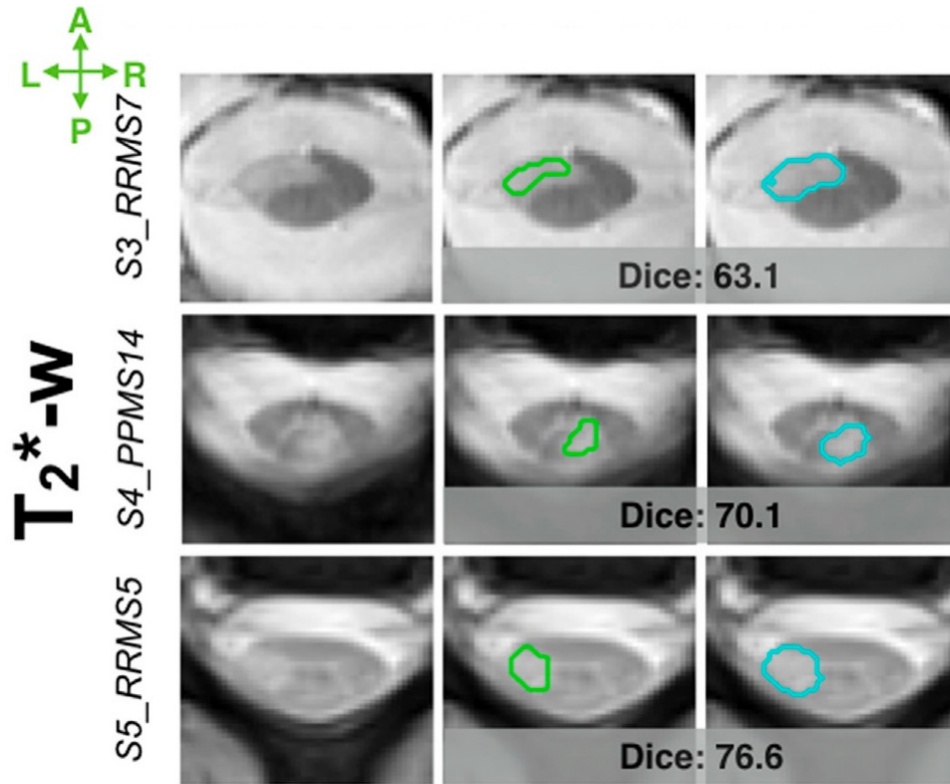
- Maska bílé hmoty může být jednoduše získána rozdílem masek míchy a šedé hmoty:

```
valosek — -zsh — 157x10  
valosek@macbook-pro:~$ sct_maths -i sub-brnoCeitec01_T2star_seg.nii.gz -sub sub-brnoCeitec01_T2star_gmseg.nii.gz -o sub-brnoCeitec01_T2star_wmseg.nii.gz
```



Segmentace RS lézí

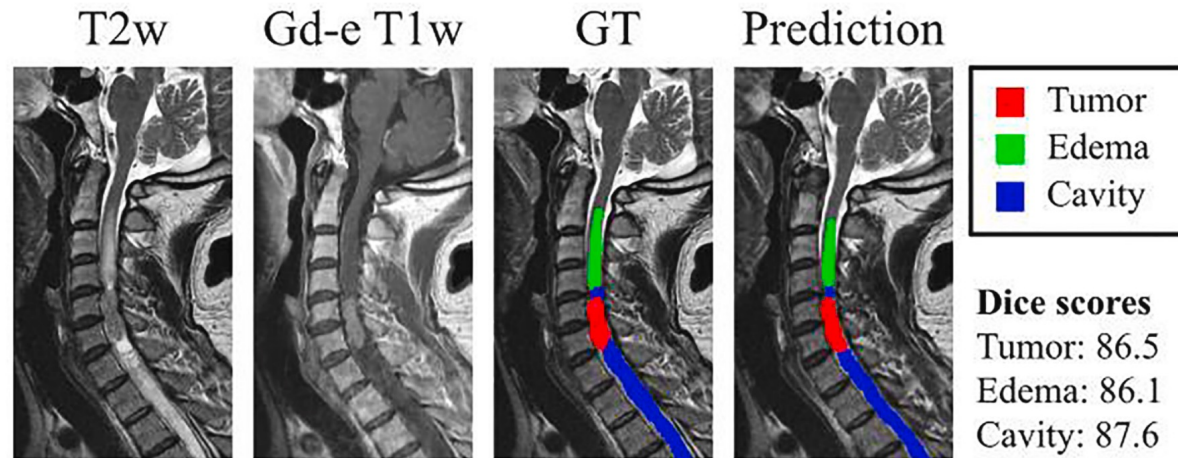
– Automatická segmentace lézí u RS



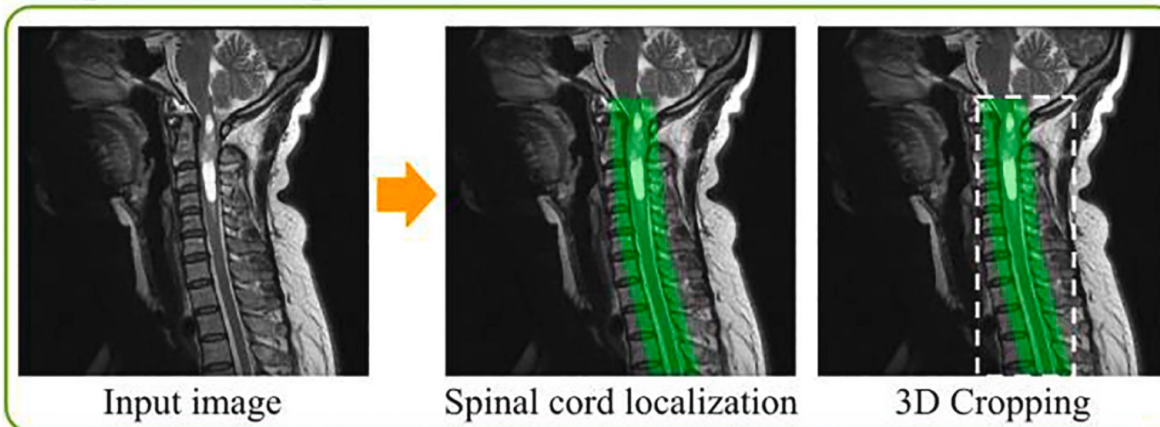
Segmentace intramedulárních tumorů



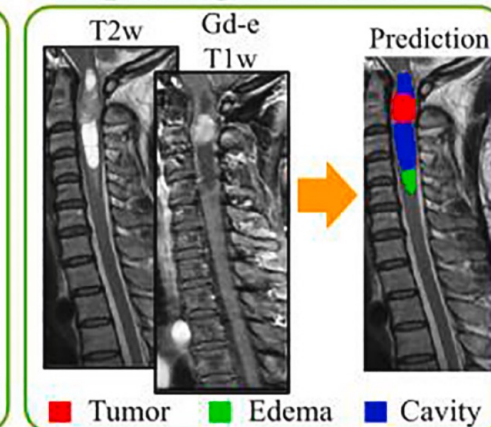
- Automatická segmentace intramedulárních tumorů



Step 1: Localize spinal cord



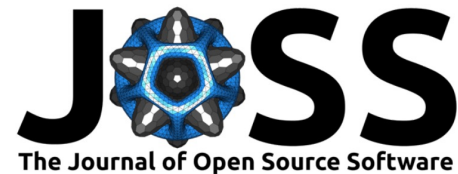
Step 2: Segment tumor



Segmentace pomocí vlastního modelu



- SCT disponuje funkcí `sct_deepseg` umožňující použití vlastních deep learning modelů natrénovaných pomocí balíku *ivadomed*



ivadomed: A Medical Imaging Deep Learning Toolbox

Charley Gros^{1, 2}, Andreanne Lemay^{1, 2}, Olivier Vincent^{1, 2}, Lucas Rouhier¹, Marie-Helene Bourget¹, Anthime Bucquet¹, Joseph Paul Cohen^{2, 3}, and Julien Cohen-Adad^{1, 2, 4}

¹ NeuroPoly Lab, Institute of Biomedical Engineering, Polytechnique Montreal, Montreal, Canada ² Mila, Quebec AI Institute, Montreal, QC, Canada ³ AIMI, Stanford University, Stanford, CA, USA ⁴ Functional Neuroimaging Unit, CRIUGM, Université de Montréal, Montreal, QC, Canada

DOI: [10.21105/joss.02868](https://doi.org/10.21105/joss.02868)

Standardní šablona a atlas míchy

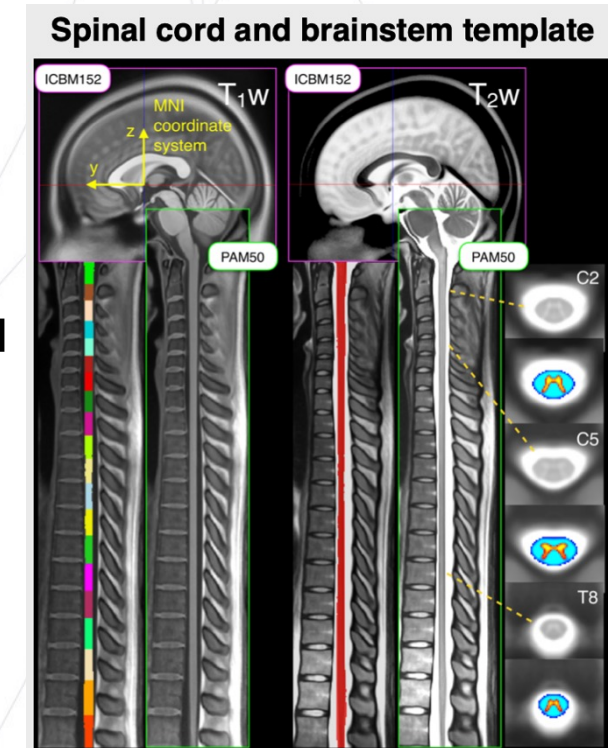
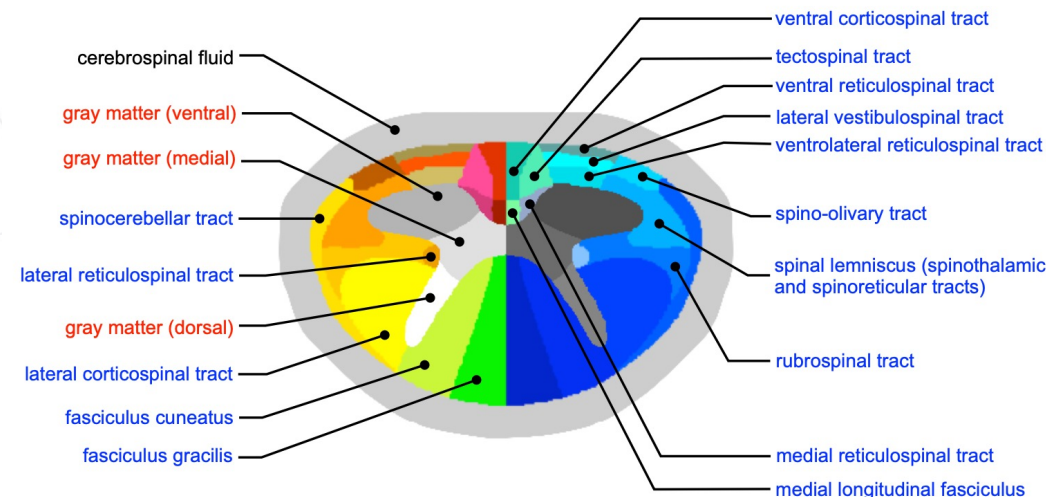


SCT obsahuje:

1. Standardní šablonu (tzv. PAM50 template):

- Pokrývá mozkový kmen a celou míchu od C1 po L2
- Je kompatibilní s ICBM152 (MNI) standardní šablonou mozku

2. Atlas bílé a šedé hmoty

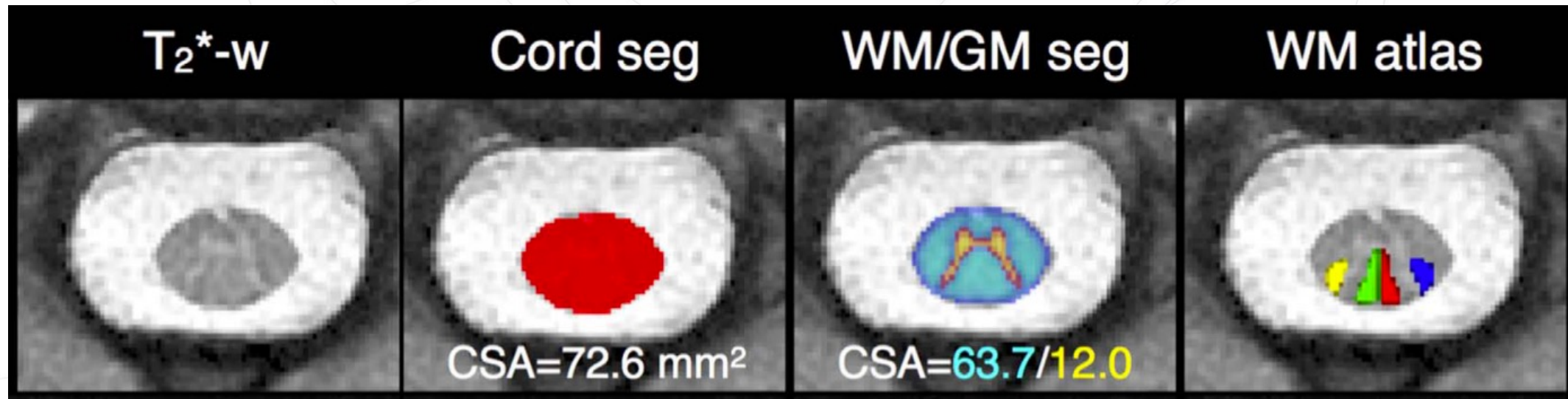


Standardní šablona a atlas míchy



Proč používat standardní šablonu a atlas?

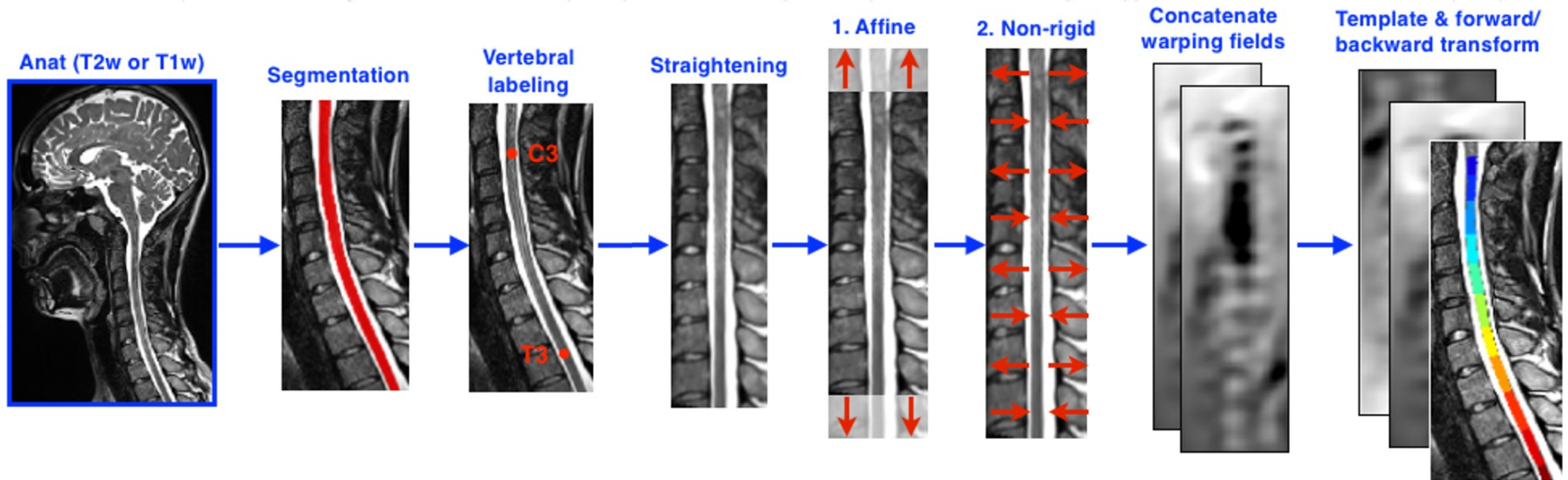
- Standardizace a reprodukovatelnost analýz
- Možnost automatické kvantifikace metrik z různých oblastí zájmů:



Standardní šablona a atlas míchy

Registrace snímků na standardní šablonu:

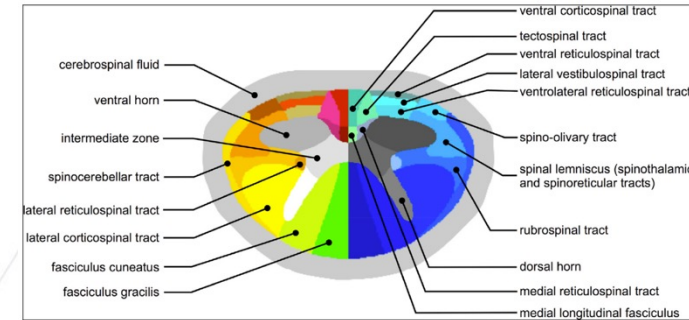
```
valosek — -zsh — 174x5  
valosek@macbook-pro:~$ sct_register_to_template -i sub-brnoCeitec01_T2w.nii.gz -s sub-brnoCeitec01_T2w_seg.nii.gz -ldisc sub-brnoCeitec01_T2w_seg_labeled_discs.nii.gz -c t2
```



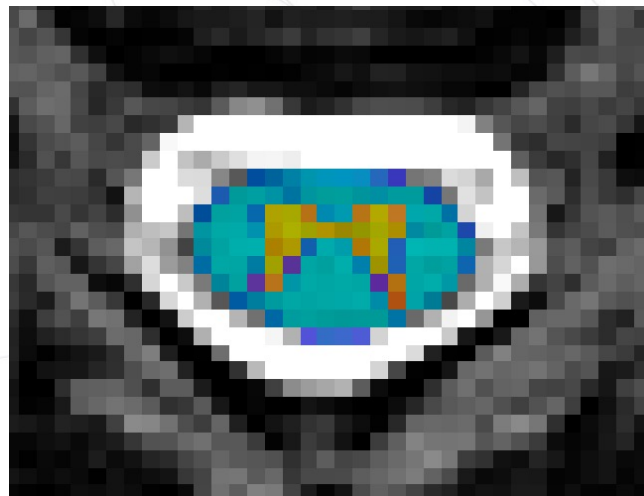
Standardní šablona a atlas míchy



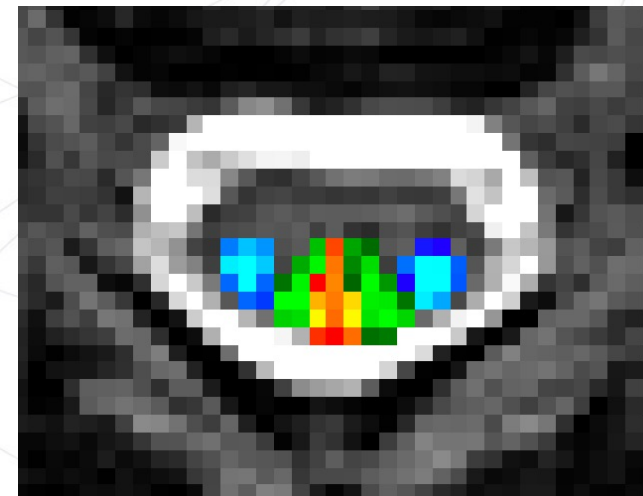
Po dokončení registrace na standardní šablonu je možné odhadnutou transformací (tzv. warping field) použít k registraci atlasu míchy do prostoru subjektu:



```
valosek — -zsh — 103x19  
valosek@macbook-pro:~$ sct_warp_template -d sub-brnoCeitec01_T2w.nii.gz -w warp_template2anat.nii.gz
```



modrá – WM, oranžová – GM



oranžová – fasciculus gracilis, zelená – fasciculus cuneatus,
modrá – lateral CST tract

Jak na vlastní analýzu?



- Spouštění jednotlivých funkcí v terminálu je neefektivní pro skupinové analýzy s mnoha subjekty
 - efektivnější je seskupení jednotlivých příkazů do jednoho souboru, tzv. skriptu

```
example_processing_script.sh — ~/vienna_example_data
create_figure.py | example_processing_script.sh
1  #!/bin/bash
2
3  # segment spinal cord
4  sct_deepseg_sc -i sub-brnoCeitec01_T2star.nii.gz -c t2s
5  # segment gray matter
6  sct_deepseg_gm -i sub-brnoCeitec01_T2star.nii.gz
7  # create white matter segmentation
8  sct_maths -i sub-brnoCeitec01_T2star_seg.nii.gz -sub sub-brnoCeitec01_T2star_gmseg.nii.gz -o sub-brnoCeitec01_T2star_wmseg.nii.gz
```

- Výhody:
 - Snadné zpracování mnoha subjektů
 - Reprodukovatelnost analýzy
 - Možnost spuštění analýzy znova při změně parametrů či přidání nových subjektů

Kontrola výsledků = Quality control (QC)



- SCT nabízí možnost pohodlné a rychlé kontroly výsledných segmentací, detekcí úrovní obratlů a výstupu dalších funkcí
- Kontrola je možná pomocí tzv. Quality control (QC) html reportu (podobně jako v případě FEAT html reportu od FSL)

A screenshot of a web browser displaying the SCT Quality Control interface. The browser address bar shows the file path: file:///Users/valosek/vienna_example_data/qc/index.html. The page title is 'SCT - Quality Control'. Below the title, there are keyboard shortcuts for 'Previous' and 'Next', a 'Display Columns' dropdown, and a search box. A table lists the dataset information, and a row of axial MRI slices with red overlays is shown. Below the slices, there is a 'Toggle overlay (right arrow)' button and a text box containing the command and SCT version.

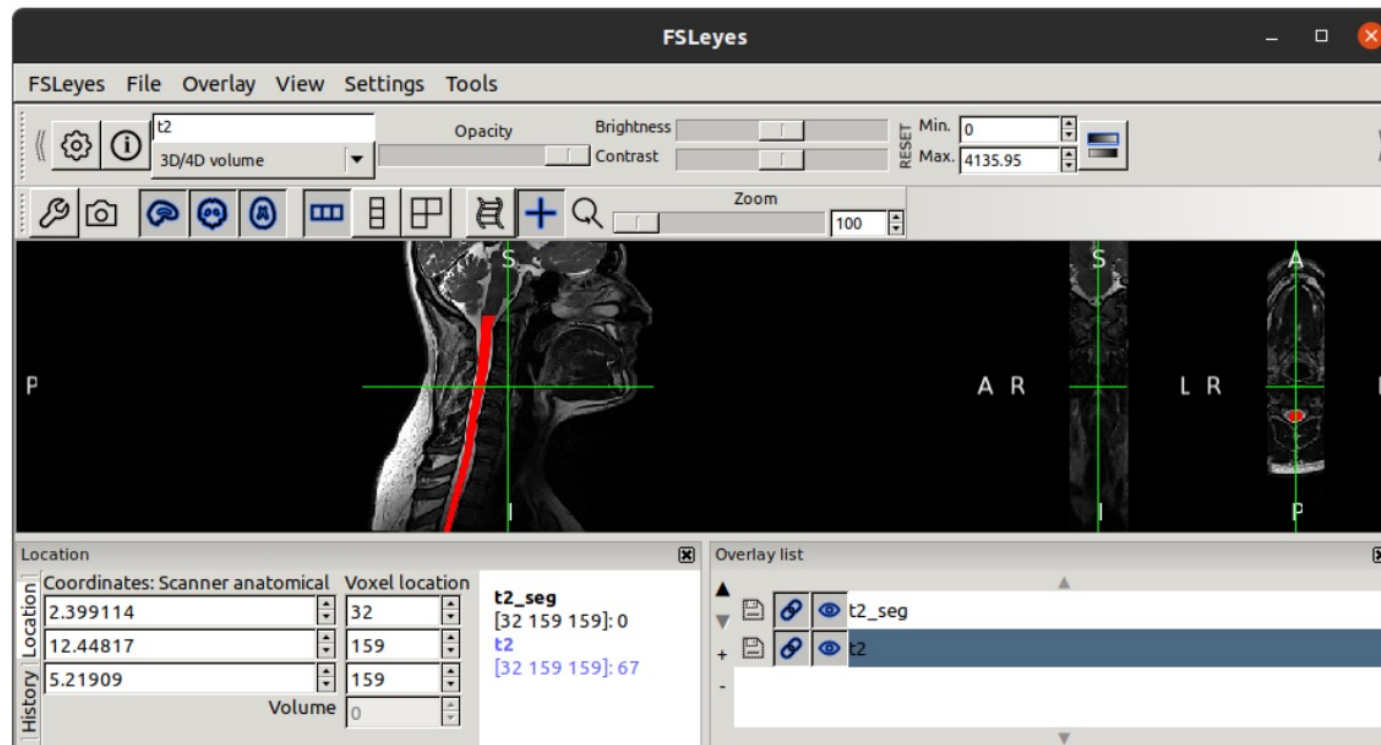
Date	Dataset	Subject	Path	File
2020-11-29 17:09:34	Users	valosek	/Users/valosek/vienna_example_data	sub-brnoCeitec

Command: sct_deepseg_sc -i sub-brnoCeitec01_T2star.nii.gz -c t2s -qc qc
SCT version: git-master-ca92ce39b85716419527b8ccab9819bd3c99f484

Vizualizace výsledků

Pro vizualizaci výsledků lze použít standardní NIfTI prohlížečky:

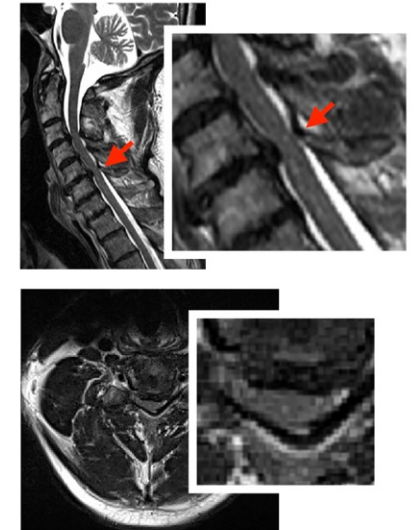
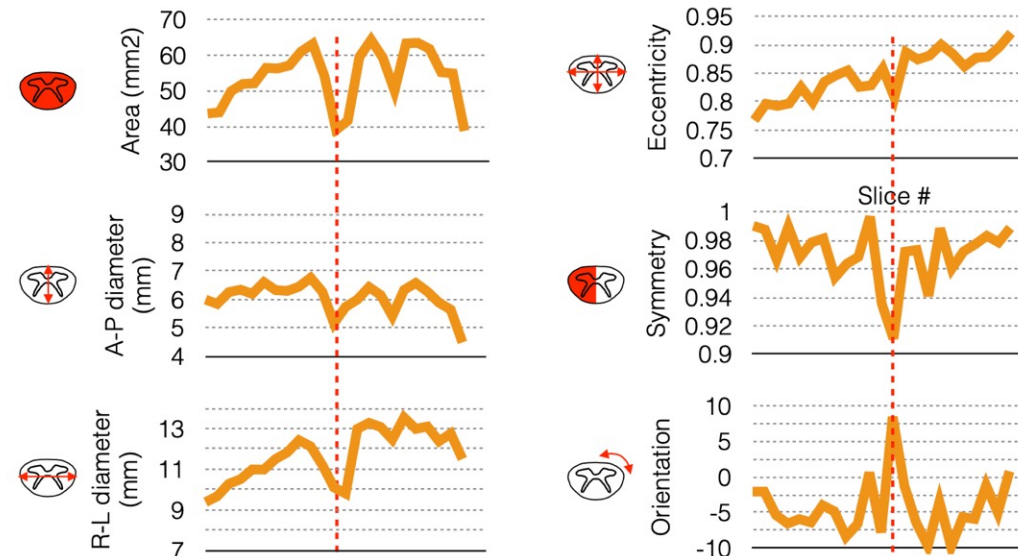
- FSLeves
- ITKsnap



Kvantitativní analýza

– SCT umožňuje výpočet kvantitativních parametrů na základě segmentace. Např.:

- Plocha míchy (cross-sectional area, CSA)
- A-P diametr
- R-L diametr
- Eccentricity
- Symetrie
- Orientace



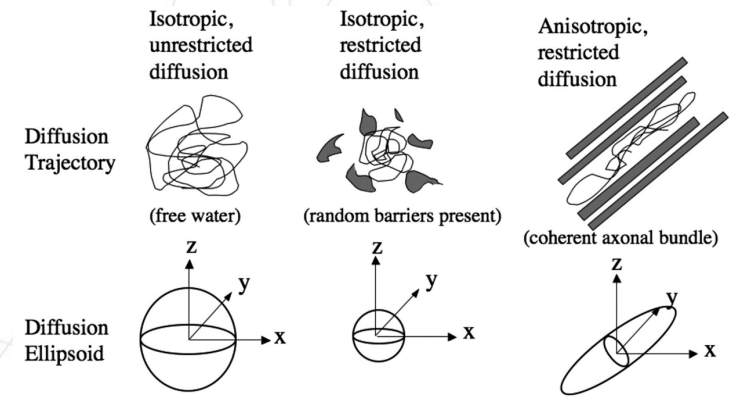
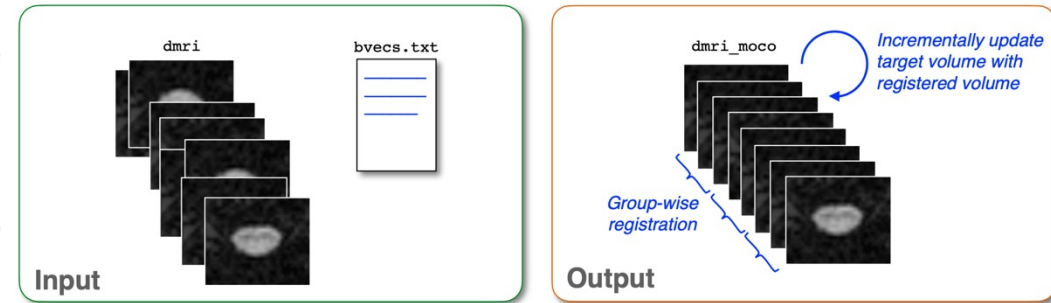
Analýza difúzně-vážených snímků

- Difúzně-vážené MR zobrazování (dMRI / DWI) = metoda citlivá na náhodný pohyb molekul vody ve tkáni → reflektuje mikrostrukturální vlastnosti tkáně
- SCT obsahuje řadu nástrojů pro zpracování dMRI dat:



```
valosek@macbook-pro:~$ sct_dmri_
sct_dmri_compute_bvalue      sct_dmri_concat_bvecs      sct_dmri_separate_b0_and_dwi
sct_dmri_compute_dti        sct_dmri_create_noisemask  sct_dmri_transpose_bvecs
sct_dmri_concat_b0_and_dwi  sct_dmri_display_bvecs
sct_dmri_concat_bvals       sct_dmri_moco
```

- Ukázka korekce pohyb. artefaktů:

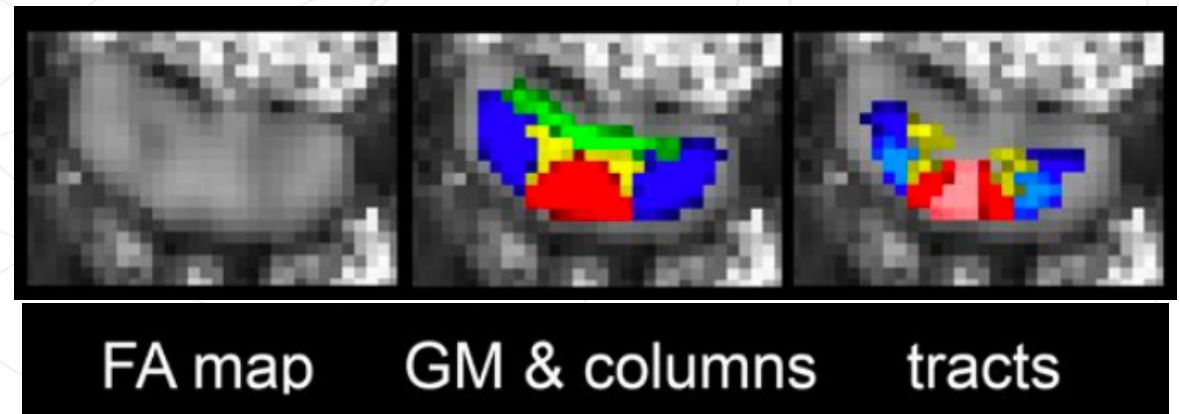
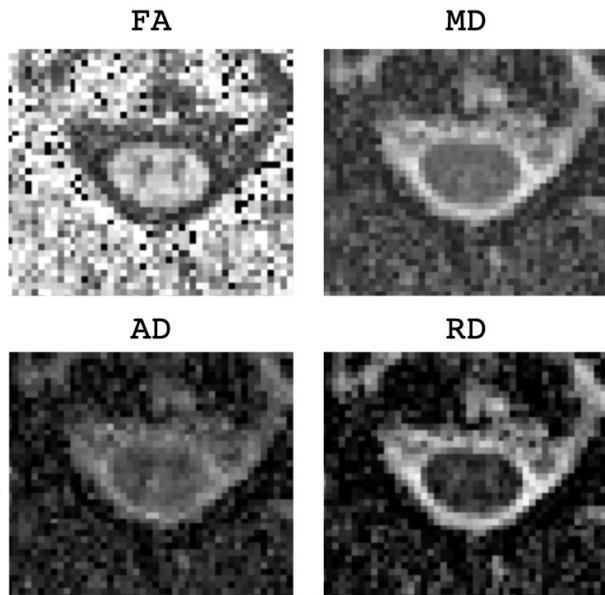


Analýza difúzně-vážených snímků



- Po předzpracování dMRI dat a odhahu DTI modelu je možné provést kvantitativní analýzu na úrovni jednotlivých traktů:

```
vienna_example_data — -zsh — 148x15  
valosek@macbook-pro:~/vienna_example_data$ sct_extract_metric -i dti_FA.nii.gz -vert 2:5 -perlevel 1 -method map -l 51,52 -o FA_in_WM_and_GM.csv
```



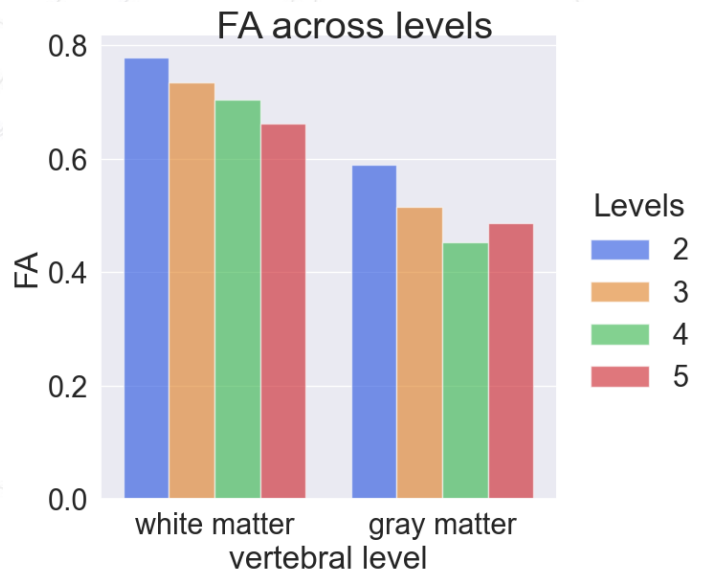
Kvantitativní analýza dMRI snímků



- Výstupem je .csv soubor → jednoduchý import do Pythonu, Matlabu, Excelu, ...

FA_in_WM_and_GM									
Timestamp	SCT Version	Filename	Size [i-SI]	VertLevel	Label	Size [vox]	MAP	STDJ	
2020-11-29 19:31:25	g1-master-fc1879ea0a2862c7d888d2454ae02b0cd0861d2	~\Vienna_example_data\01_FA.nii.gz	2:3	5	white matter	307.49642369897944	0.8612080997047288	0.15458724073160715	
2020-11-29 19:31:25	g1-master-fc1879ea0a2862c7d888d2454ae02b0cd0861d2	~\Vienna_example_data\01_FA.nii.gz	4:6	4	white matter	447.4664236784838	0.704198759185276	0.14220084749473	
2020-11-29 19:31:25	g1-master-fc1879ea0a2862c7d888d2454ae02b0cd0861d2	~\Vienna_example_data\01_FA.nii.gz	7:9	3	white matter	391.1339972889301	0.7338744262865152	0.14737187718600075	
2020-11-29 19:31:25	g1-master-fc1879ea0a2862c7d888d2454ae02b0cd0861d2	~\Vienna_example_data\01_FA.nii.gz	10:11	2	white matter	242.7357695946178	0.7785794113367305	0.1273983403000982	
2020-11-29 19:31:25	g1-master-fc1879ea0a2862c7d888d2454ae02b0cd0861d2	~\Vienna_example_data\01_FA.nii.gz	2:3	5	gray matter	307.49642369897944	0.4863316213367088	0.1286789118980702	
2020-11-29 19:31:25	g1-master-fc1879ea0a2862c7d888d2454ae02b0cd0861d2	~\Vienna_example_data\01_FA.nii.gz	4:6	4	gray matter	447.4664236784838	0.452798729631249	0.1601175587340384	
2020-11-29 19:31:25	g1-master-fc1879ea0a2862c7d888d2454ae02b0cd0861d2	~\Vienna_example_data\01_FA.nii.gz	7:9	3	gray matter	391.1339972889301	0.5143135415838508	0.16412463004721597	
2020-11-29 19:31:25	g1-master-fc1879ea0a2862c7d888d2454ae02b0cd0861d2	~\Vienna_example_data\01_FA.nii.gz	10:11	2	gray matter	242.7357695946178	0.589940618023784	0.15542266934913715	

```
create_figure.py
1 import pandas as pd
2 import seaborn as sns
3
4 df_data = pd.read_csv('FA_in_WM_and_GM.csv')
5
6 print(df_data)
7
8 figure = sns.catplot(data=df_data, kind='bar',
9                     x='Label', y='MAP()', hue='VertLevel',
10                    ci='sd', palette='bright', alpha=.6, height=6)
11
12 figure.fig.suptitle('FA across levels')
13 figure.set_axis_labels('vertebral level', 'FA')
14 figure.legend.set_title('Levels')
15 figure.savefig('FA_across_levels.png')
16
```



.csv soubor s hodnotami frakční anisotropie (FA)

Python skript pro vygenerování grafu

Vizualizace FA hodnot skrze míšňí úrovně (tzv. per-level)

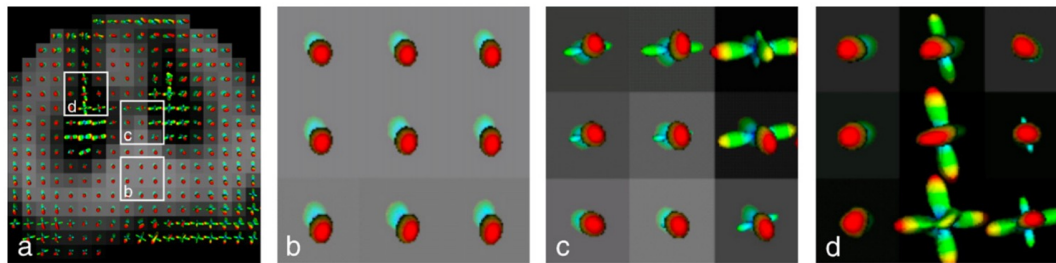
Pokročilé dMRI modely

- DTI model dokáže odhadnout jeden směr vláken
- Pokročilejší difúzní modely mohou být odhadnuty pomocí dalších knihoven a nástrojů:
 - FSL – ball-and-sticks model, Q-ball model
 - NODDI – matlab toolbox
 - DIPY – python knihovna podporující modely jako DTI, DKI, DSI, CSD, Q-ball, a další

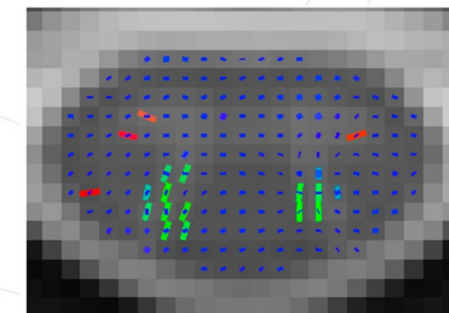


Fiber configuration	DT	Principal direction
Parallel		
Fanning		
Bending		
Crossing (acute)		
Crossing		

DIPY



Q-ball model na míše kočky (Cohen-Adad et al., 2008)

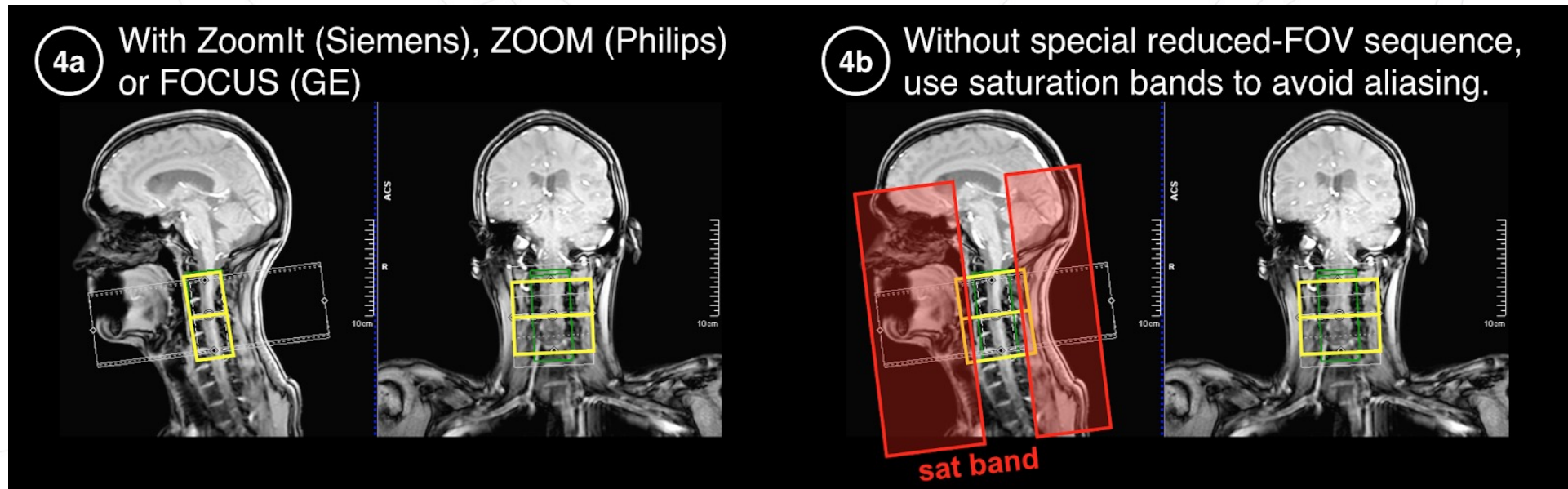


Ball-and-sticks model (Labounek et al., 2020)

Difúzně-vážené MR – jakou sekvencí použít?

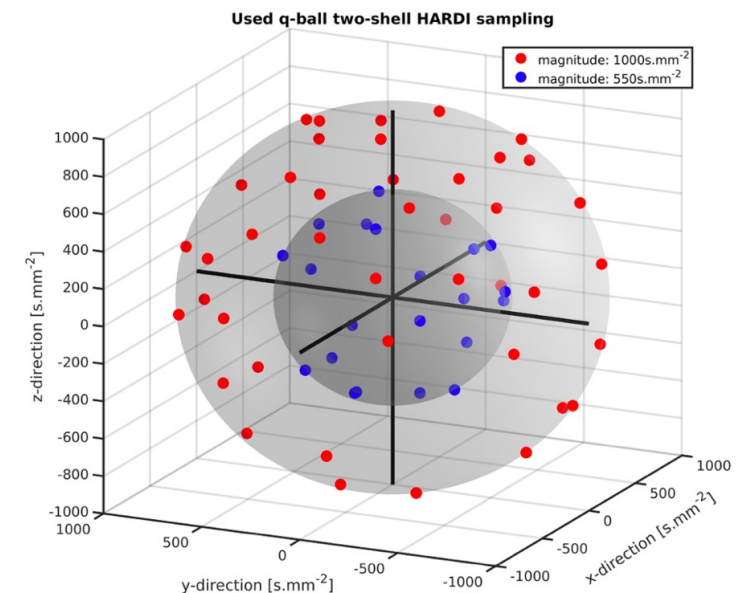
- Doporučené jsou sekvence s redukovaným FOV:

	GE	Philips	Siemens
DWI (2D)	Spin Echo EPI with or without FOCUS*	Zoom Diffusion*	ep2d_diff with or without ZOOMit*



Difúzně-vážené MR – single- vs multi-shell?

- Doporučené sekvence: single-shell s b-hodnotou = 800 s/mm² a 30-32 směry (Cohen-Adad et al., 2021, Nat Prot)
- Tato sekvence má skvělý akviziční čas (cca 3 min) a je dostatečná pro DTI model
- U skenerů se silnějšími gradienty (≥ 80 mT/m) je doporučeno přidat druhou b-hodnotu / slupku (shell) (2000 - 3000 s/mm²)
- Stále platí: **vyšší b-hodnota = vyšší difúzní vážení ale nižší SNR**

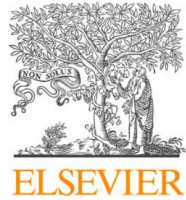


Ukázka dvou-slupkové (tzv. multi-shell) dMRI sekvence

Osnova

1. Úvod
2. Zpracování dat
- 3. Aplikace**

SCT – praktické aplikace



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

NeuroImage

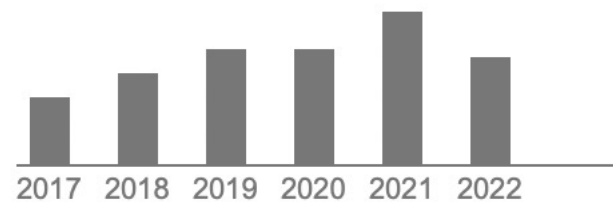
journal homepage: www.elsevier.com/locate/neuroimage



SCT: Spinal Cord Toolbox, an open-source software for processing spinal cord MRI data

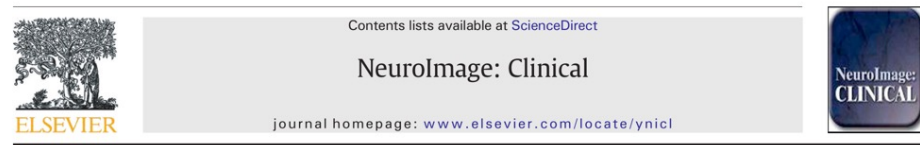
Benjamin De Leener^a, Simon Lévy^{a,b}, Sara M. Dupont^a, Vladimir S. Fonov^c, Nikola Stikov^{a,d}, D. Louis Collins^c, Virginie Callot^{e,f}, Julien Cohen-Adad^{a,b,*}

Total citations Cited by 404



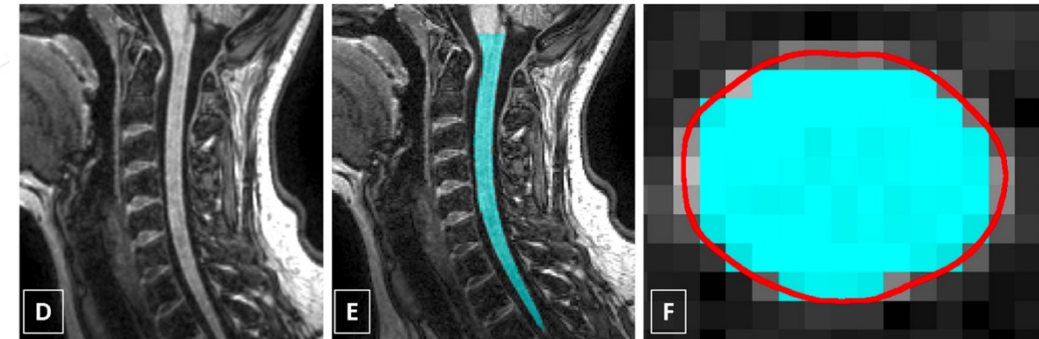
Roztroušená skleróza (RS)

- Automatická kvantifikace plochy míchy (cross-sectional area, CSA)



Fully automated segmentation of the cervical cord from T1-weighted MRI using *PropSeg*: Application to multiple sclerosis[☆]

Marios C. Yiannakas^{a,*}, Ahmed M. Mustafa^a, Benjamin De Leener^b, Hugh Kearney^a, Carmen Tur^a, Daniel R. Altmann^{a,c}, Floriana De Angelis^a, Domenico Plantone^a, Olga Ciccarelli^a, David H. Miller^a, Julien Cohen-Adad^{b,d}, Claudia A.M. Gandini Wheeler-Kingshott^{a,e}

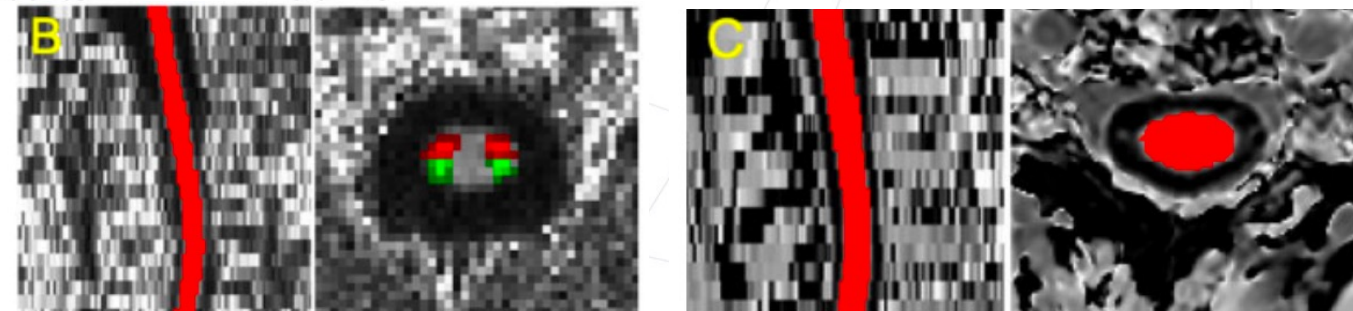


- Kvantitativní MR (dMRI, MT) u neuromyelitis optica a RS



Quantitative spinal cord MRI in MOG-antibody disease, neuromyelitis optica and multiple sclerosis

Romina Mariano,¹ Silvia Messina,¹ Adriana Roca-Fernandez,¹ Maria I. Leite,¹ Yazhuo Kong^{2,3,4} and Jacqueline A. Palace¹



Amyotrofická laterální skleróza (ALS)

- Kombinace dMRI a standardní šablony míchy



ARTICLE

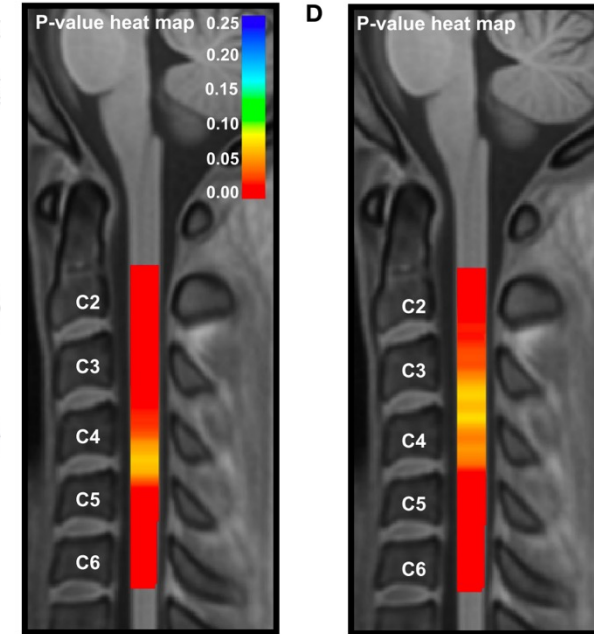
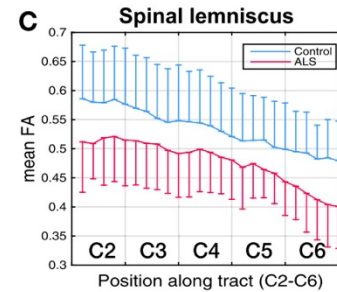
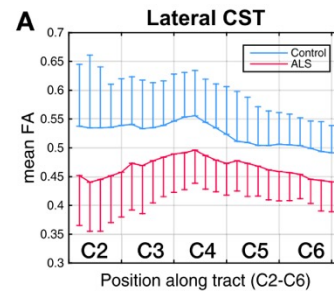
<https://doi.org/10.1038/s42003-020-1093-z>

OPEN

Tract-specific analysis improves sensitivity of spinal cord diffusion MRI to cross-sectional and longitudinal changes in amyotrophic lateral sclerosis

Pramod Kumar Pisharady^{1,2,5*}, Lynn E. Eberly^{1,3}, Ian Cheong¹, Georgios Manousakis⁴, Gaurav Guliani⁴, H. Brent Clark⁵, Mark Bathe², David Walk^{4,6} & Christophe Lenglet^{1,6}

Check for updates

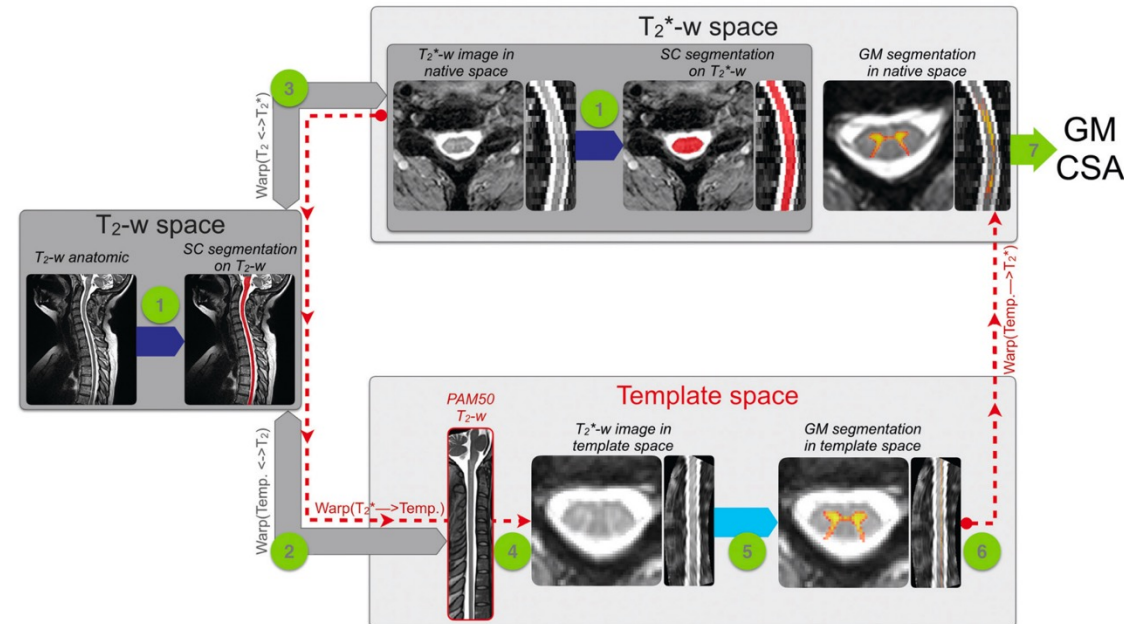


- Atrofie šedé hmoty

ORIGINAL RESEARCH
SPINE

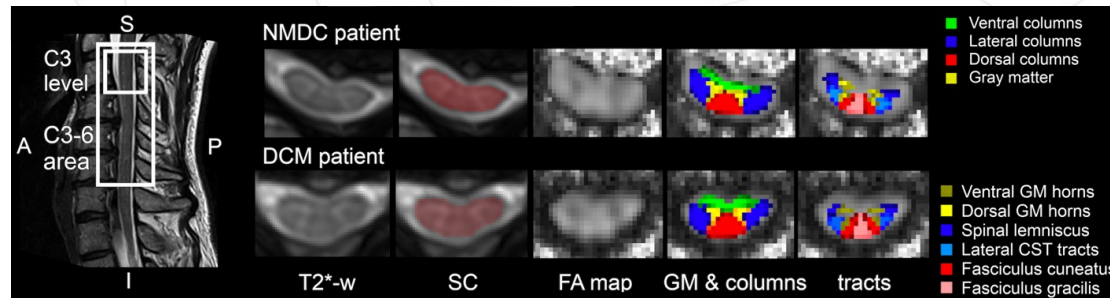
Spinal Cord Gray Matter Atrophy in Amyotrophic Lateral Sclerosis

¹M.-É. Paquin, ¹M.M. El Mendili, ¹C. Gros, ¹S.M. Dupont, ²J. Cohen-Adad, and ³P.-F. Pradat



Degenerativní míšňní komprese

– Kombinace dMRI a atlasu míchy



DOI: 10.1111/ene.15027

ORIGINAL ARTICLE

European Journal of Neurology
The Official Journal of the European Academy of Neurology

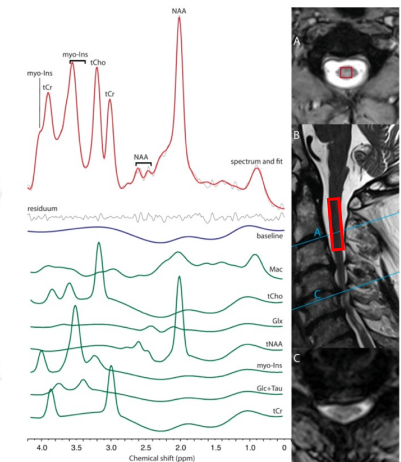
Diffusion magnetic resonance imaging reveals tract-specific microstructural correlates of electrophysiological impairments in non-myelopathic and myelopathic spinal cord compression

Jan Valošek^{1,2} | René Labounek^{1,3} | Tomáš Horák^{4,5,6} | Magda Horáková^{5,6} | Petr Bednařík^{4,7} | Miloš Keřkovský^{6,8} | Jan Kořiča^{5,6} | Tomáš Rohan^{6,8} | Christophe Lenglet⁹ | Julien Cohen-Adad^{10,11,12} | Petr Hluštík¹ | Eva Vlčková^{5,6} | Zdeněk Kadaňka Jr.^{5,6} | Josef Bednařík^{4,5,6} | Alena Svatková^{4,13}

– MR spektroskopie

In vivo Molecular Signatures of Cervical Spinal Cord Pathology in Degenerative Compression

Tomas Horak¹⁻³, Magda Horakova¹⁻³, Alena Svatkova^{4,5}, Zdenek Kadanka Jr.^{1,2}, Petr Kudlicka^{1,3}, Jan Valosek^{6,7}, Tomas Rohan⁸, Milos Kerkovsky⁸, Eva Vlckova¹⁻³, Zdenek Kadanka², Dinesh K. Deelchand⁹, Pierre-Gilles Henry⁹, Josef Bednarik¹⁻³ and Petr Bednarik^{3,10,*}

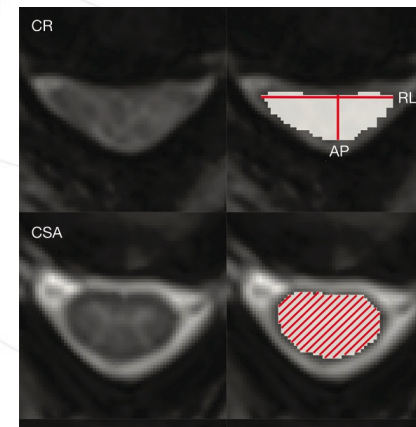


– Semi-automatická detekce komprese

Original Article

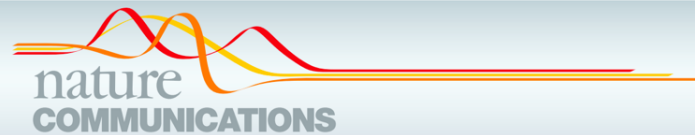
Semi-automated detection of cervical spinal cord compression with the Spinal Cord Toolbox

Magda Horáková^{1,2,3}^, Tomáš Horák^{1,2,3}^, Jan Valošek^{4,5}^, Tomáš Rohan^{2,6}^, Eva Koritřáková⁷^, Marek Dostál^{2,6}^, Jan Kořiča^{1,2,3}^, Tomáš Skutil^{1,2}^, Miloš Keřkovský^{2,6}^, Zdeněk Kadaňka Jr.^{1,2}^, Petr Bednařík^{3,8,9,10}^, Alena Svatková^{4,11,12}^, Petr Hluštík^{4,13}^, Josef Bednařík^{1,2,3}^



Cévní mozková příhoda

- dMRI mozkového kmene a míchy
- Kombinace SCT, FSL a SPM



ARTICLE

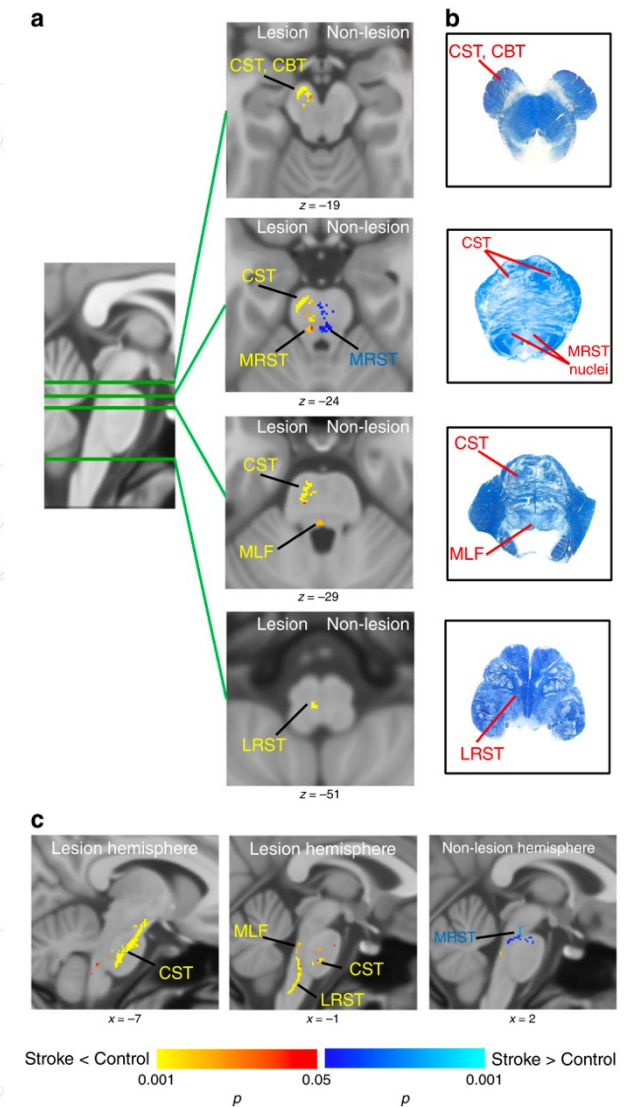
[There are amendments to this paper](#)

<https://doi.org/10.1038/s41467-019-11244-3>

OPEN

Brainstem and spinal cord MRI identifies altered sensorimotor pathways post-stroke

Haleh Karbasforoushan^{1,2}, Julien Cohen-Adad^{3,4} & Julius P.A. Dewald^{1,2,5}



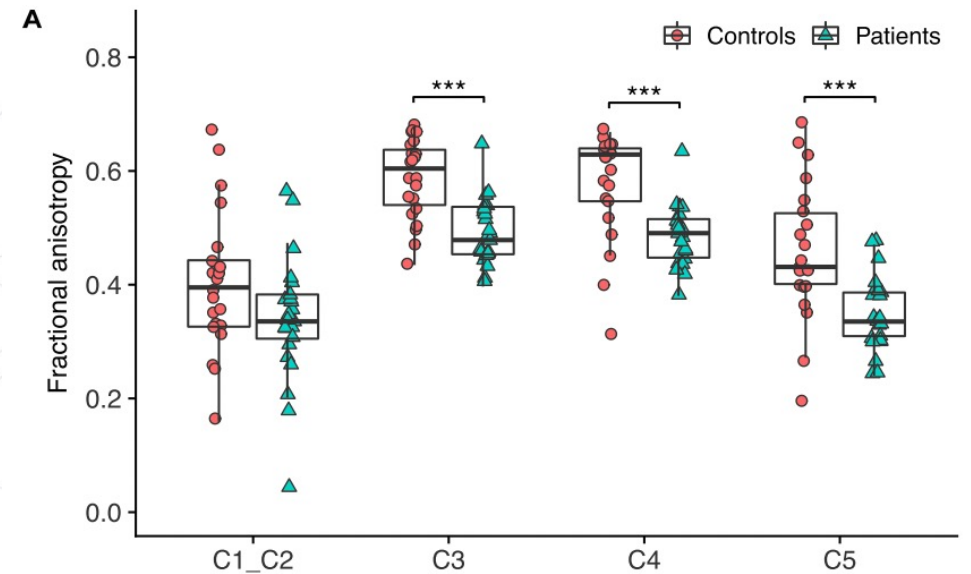
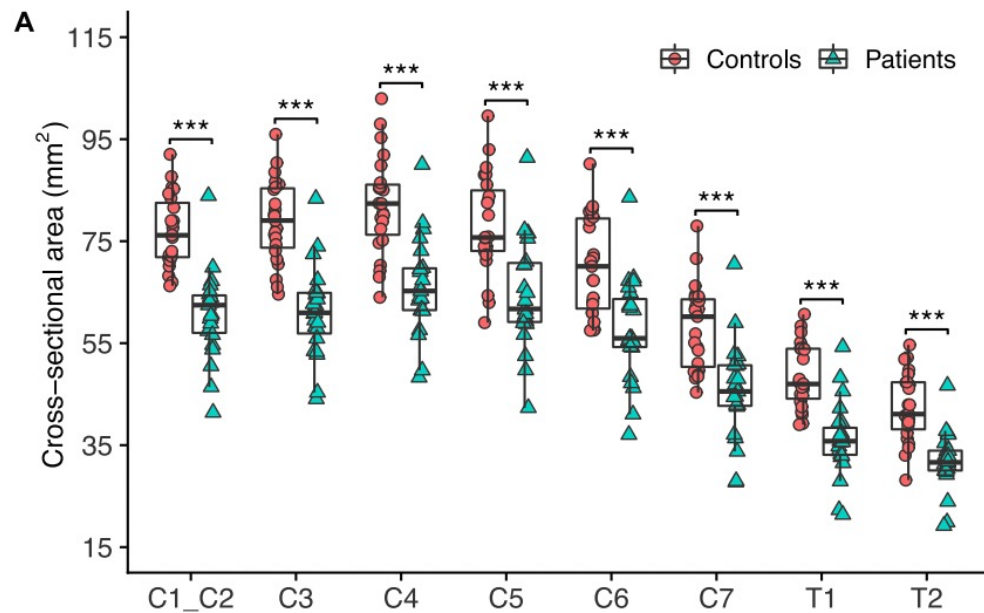
Adrenomyeloneuropatie



– CSA, DTI, MT mozku a míchy

Multiparametric *in vivo* analyses of the brain and spine identify structural and metabolic biomarkers in men with adrenomyeloneuropathy

Isaac M. Adanyeguh^{a,1}, Xiaofang Lou^{a,1}, Eavan McGovern^a, Marie-Pierre Luton^a, Magali Barbier^a, Elise Yazbeck^a, Romain Valabregue^{a,c}, Dinesh Deelchand^b, Pierre-Gilles Henry^b, Fanny Mochel^{a,d,e,*}

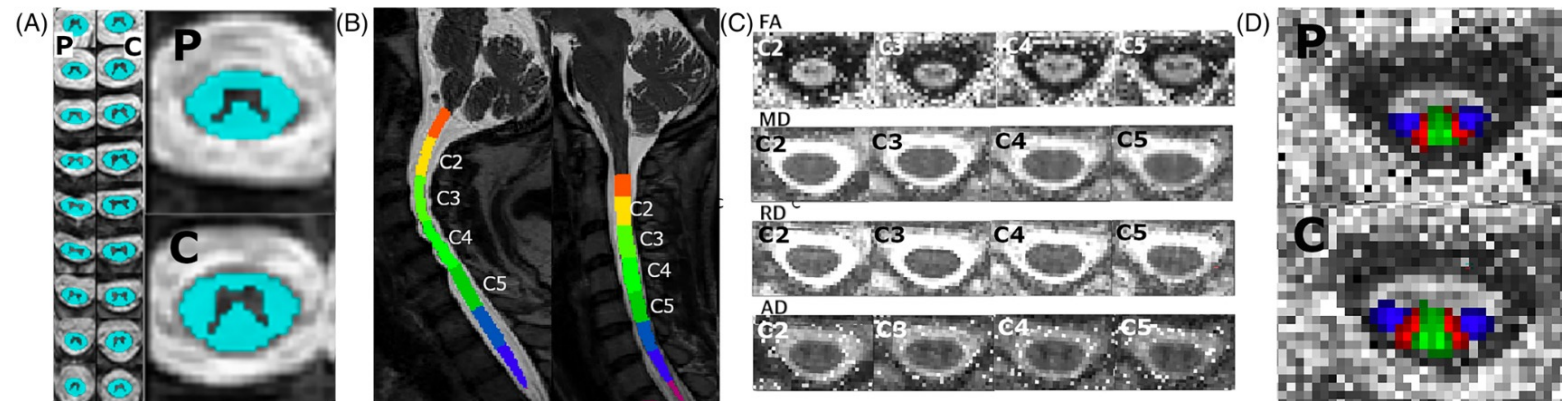


Friedreichova ataxie

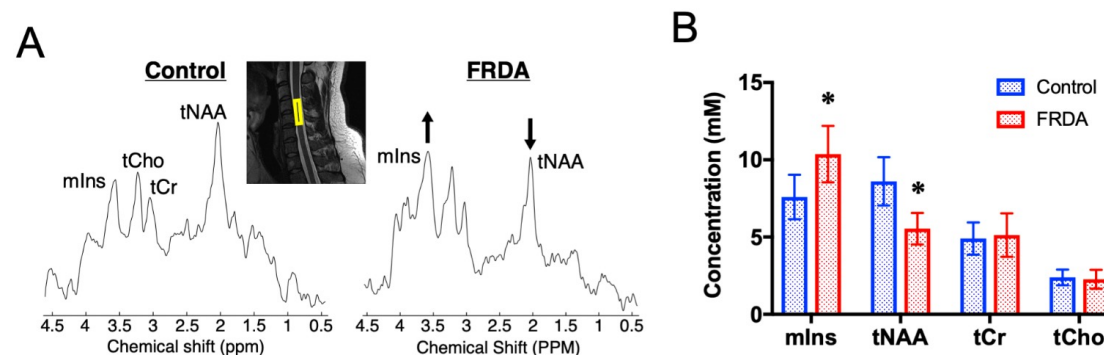
Tract-Specific Spinal Cord Diffusion Tensor Imaging in Friedreich's Ataxia

Ana Luisa C.C. Hernandez, MD, Thiago J.R. Rezende, PhD, Alberto R.M. Martinez, MD, PhD, Mariana R. de Brito, MD, and Marcondes C. Franca, Jr, MD, PhD

- Korelace FA v kortikospinálních traktech se závažností onemocnění



- Kombinace CSA, DTI a MRS



Spinal cord MRI and MRS Detect Early-stage Alterations and Disease Progression in Friedreich Ataxia

James M. Joers^{1*}, Isaac M. Adanyeguh^{1*}, Dinesh K. Deelchand¹, Diane H. Hutter¹, Lynn E. Eberly², Isabelle Iltis¹, Khalaf O. Bushara³, Christophe Lenglet^{1†}, Pierre-Gilles Henry^{1†}

Závěr

- MR protokol: *spine-generic*

<https://spine-generic.readthedocs.io>

- Open-access datasety:

<https://spine-generic.readthedocs.io>

- Nástroj pro analýzu: *Spinal Cord Toolbox*

<https://spinalcordtoolbox.com>

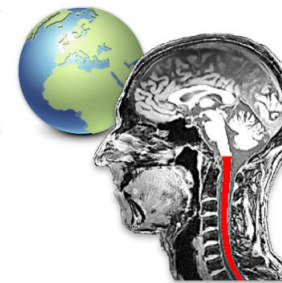
- Diskuzní forum:

<https://spinalcordmri.org>



Generic acquisition protocol for quantitative MRI of the spinal cord

Julien Cohen-Adad^{1,2,3}, Eva Alonso-Ortiz¹, Mihael Abramovic⁴, Carina Arneitz⁴,



SCT

Spinal Cord Toolbox

A screenshot of the 'Spinal Cord MRI / Forum' website. The page title is 'Spinal Cord MRI / Forum'. There are navigation icons for home, search, and user profile. The main content area is divided into two sections: 'MRI Acquisition' and 'SCT'.
MRI Acquisition
Discussions related to MRI acquisition strategies. It could be about the type of MR system, RF coils, sequence parameters, etc.
12 [Spinal cord MRI acquisition \(improvement and validation\)](#) May '20
[Unexpected colors in T2w image](#) Feb '12
[Question about Scanning Parameters of T2*](#) Dec '21
SCT
Questions & discussions related to Spinal Cord Toolbox (SCT) software. Please don't feel shy to also contribute to other people's questions/comments. Any feedback is appreciated! Note: When reporting an issue, please follow the "New Topic" checklist. The information you provide helps us greatly whe...
393 [Failed Windows SCT 5.7 installation](#) • 21h
1 unread
1 new
[Cannot find bvec and bval](#) 3d
[Anatomical registration between sessions](#) 7d

Děkuji za pozornost

Jan Valošek, jan.valosek@upol.cz



Reference

1. Johansen-Berg, H. & Behrens, T. E. J. Diffusion MRI: From quantitative measurement to in-vivo neuroanatomy. (Academic Press, 2009).
2. Cohen-Adad, J. & Wheeler-Kingshott, C. Quantitative MRI of the Spinal Cord. Quantitative MRI of the Spinal Cord (Elsevier, 2014). doi:10.1016/C2011-0-07594-4.
3. Cohen-Adad, J. et al. Generic acquisition protocol for quantitative MRI of the spinal cord. Nat. Protoc. 16, 4611–4632 (2021).
4. Cohen-Adad, J. et al. Open-access quantitative MRI data of the spinal cord and reproducibility across participants, sites and manufacturers. Sci. Data 8, 219 (2021).
5. De Leener, B. et al. SCT: Spinal Cord Toolbox, an open-source software for processing spinal cord MRI data. Neuroimage 145, 24–43 (2017).
6. Gros, C. et al. Automatic segmentation of the spinal cord and intramedullary multiple sclerosis lesions with convolutional neural networks. Neuroimage 184, 901–915 (2019).
7. Horak, T. et al. In vivo Molecular Signatures of Cervical Spinal Cord Pathology in Degenerative Compression. J. Neurotrauma 38, 2999–3010 (2021).
8. Horáková, M. et al. Semi-automated detection of cervical spinal cord compression with the Spinal Cord Toolbox. Quant. Imaging Med. Surg. 12, 2261–2279 (2022).
9. Labounek, R. et al. HARDI-ZOOMit protocol improves specificity to microstructural changes in presymptomatic myelopathy. Sci. Rep. 10, 17529 (2020).
10. Lemay, A. et al. Automatic multiclass intramedullary spinal cord tumor segmentation on MRI with deep learning. NeuroImage Clin. 31, 102766 (2021).
11. Mori, S. & Tournier, J.-D. Introduction to Diffusion Tensor Imaging: And Higher Order Models. (Academic Press, 2014).
12. Mukherjee, P., Berman, J. I., Chung, S. W., Hess, C. P. & Henry, R. G. Diffusion tensor MR imaging and fiber tractography: Theoretic underpinnings. American Journal of Neuroradiology vol. 29 632–641 (2008).
13. Perone, C. S., Calabrese, E. & Cohen-Adad, J. Spinal cord gray matter segmentation using deep dilated convolutions. Sci. Rep. 8, 5966 (2018).
14. Valošek, J. et al. Diffusion magnetic resonance imaging reveals tract-specific microstructural correlates of electrophysiological impairments in non-myelopathic and myelopathic spinal cord compression. Eur. J. Neurol. 28, 3784–3797 (2021).