

# Adaptivní radioterapie na MR-Linac

Ing. Tomáš Veselský, Ph.D.

Ústav radiační terapie  
Ústřední vojenská nemocnice –  
Vojenská fakultní nemocnice Praha

[tomas.veselsky@uvn.cz](mailto:tomas.veselsky@uvn.cz)



**ÚVN**

ÚSTŘEDNÍ VOJENSKÁ NEMOCNICE  
Vojenská fakultní nemocnice  
Praha

# Co se dnes dozvíme?



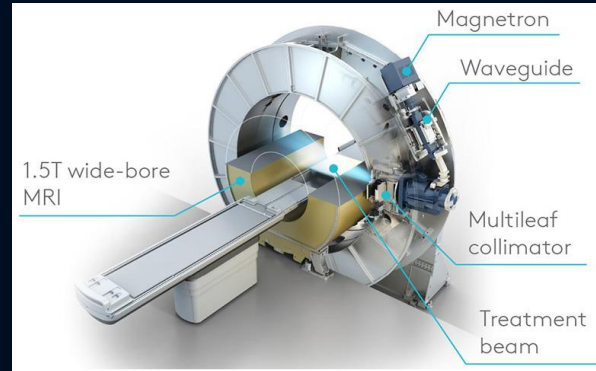
- Aktuální situace na trhu MR-Linac
  - Situace s MR-Linac na ÚVN
    - Workflow ozáření na MR-Linac
      - Adaptivní radioterapie – je potřeba?
        - Workflow adaptivní radioterapie na MR-Linac

# MR-Linacy na trhu<sub>1</sub>



## • Elekta Unity

- 7 MV FFF fotonový svazek
- SAD = 143,5 cm
- MR 1,5 T
- Magnetické pole kolmo na svazek - ERE, ESE
- MLC orientováno LNG
- Beam-stopper
- CMM – aktivní motion management
- Online adaptace (ATP, ATS)
- MV imager

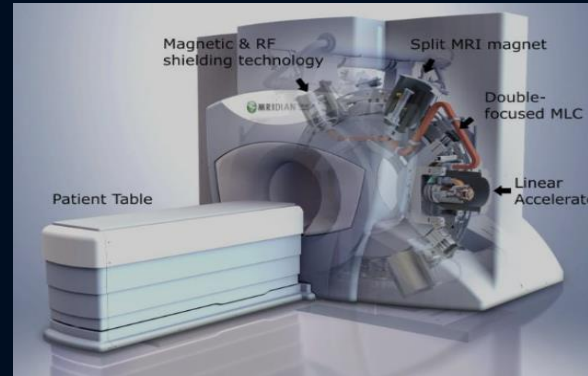


# MR-Linacy na trhu<sub>2</sub>



## • ViewRay MRIdian

- 6 MV FFF fotonový svazek
- SAD = 90 cm
- MR 0,35 T
- Magnetické pole kolmo na svazek - ERE, ESE
- MLC orientováno LAT
- Beam-stopper
- Aktivní motion management (gating)
- Online adaptace
- ~~MV imager~~

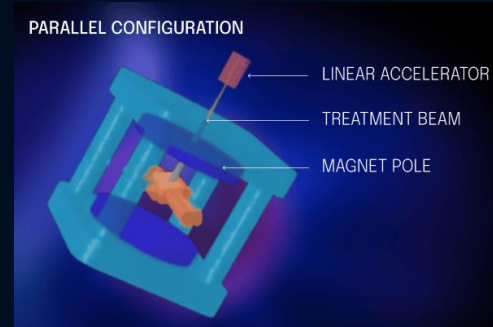


# MR-Linacy na trhu<sub>3</sub>



- **MagnetTx Aurora-RT**

- 6 MV FFF fotonový svazek
- SAD?
- MR 0,5 T
- Magnetické pole paralelně se svazkem - ~~EFE, ESE~~
- MLC orientováno LAT
- Beam-stopper?
- Aktivní motion management (gating)?
- Online adaptace?
- ~~MV imager~~



# MR-Linac na ÚVN<sub>1</sub>



- Vypsána VZ na MR-Linac s motion management (04/2022)
- VZ vyhrál ViewRay MRIdian V2 (01/2023)
- Bankrot ViewRay (10/2023)
- instalace zrušena



# Workflow ozáření na MR-Linac<sub>1</sub>

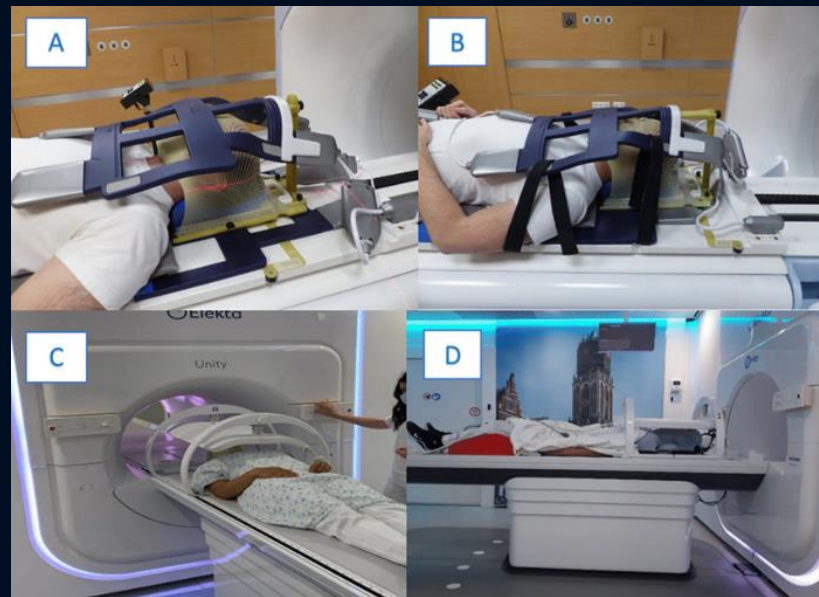
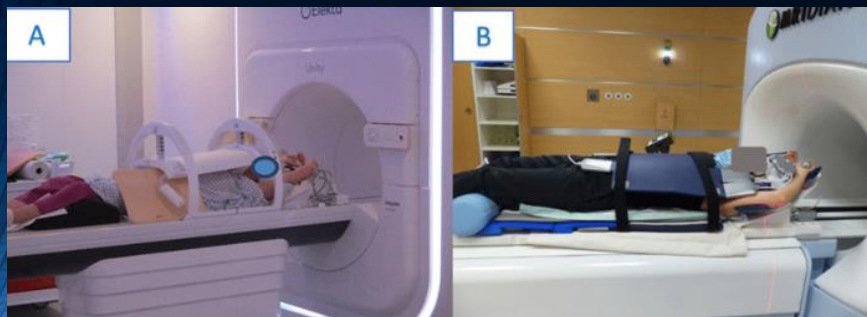


- Provedení simulace na MR-Linac (přítomnost cívek pro MR zobrazení)
- Plánovací CT vyšetření (dummy coils)
- Fúze MR a CT
- Definice cílových struktur a OAR dle MR
- Výpočet dávky na plánovací CT
- Zhodnocení ozařovacího plánu dle DVH a klinických constraints

# Workflow ozáření na MR-Linac<sub>2</sub>



- Příklad cívek pro MR-Linac





# Adaptivní radioterapie (ART)<sub>1</sub>



- Radioterapie, při které je vytvořen nový ozařovací plán na základě 3D zobrazení pacienta v průběhu radioterapie
- V případě, kdy je podezření, že původní ozařovací plán povede k nedostatečnému pokrytí cílového objemu nebo navýšení ozáření okolní zdravé tkáně kvůli změně velikosti tumoru, změně hmotnosti pacienta nebo jiných změn anatomických poměrů, které mohou v průběhu radioterapie nastat

# Adaptivní radioterapie (ART)<sub>2</sub>



- **Klasifikace ART:**

- **Offline ad hoc replanning** – replan je vytvořen na základě změny velikosti tumoru a jiných faktorů
- **Protocolled offline replanning** – replan je vytvořen na základě předdefinovaného protokolu – nastavené akční úrovně a rozdíly ve velikostech zjištěné při IGRT nebo jiných plánovaných vyšetřeních
- **Online plan library** – vybere se plán nejlépe odpovídající aktuální anatomii, podmínkou je existence knihovny plánů připravených pro očekávatelné změny
- **Daily online replanning** – optimální ozařovací plán je vytvořen okamžitě před ozářením, reflektuje interfrakční změny pacienta

# Adaptivní radioterapie (ART)<sub>3</sub>



## • Kdy adaptovat?

### • Žádné oficiální doporučení

### • Rozhodnutí je klinické v rámci pracoviště

### • Příklad klinické protokolu s akčními úrovněmi pro radioterapii v oblasti H&N

**TABLE 3** | Treatment planning dose constraints and structure specific dosimetric endpoints (DE) .

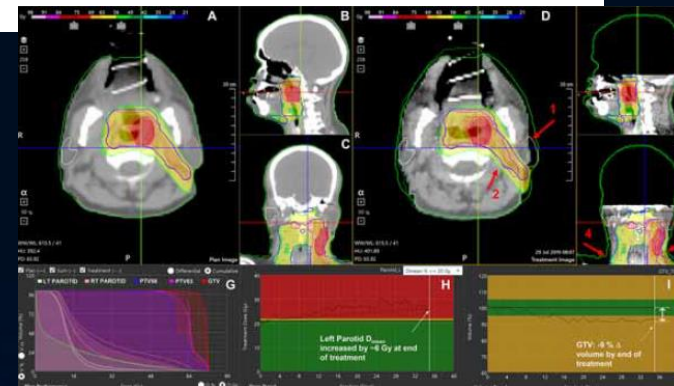
Organ/volume of interest	Parameter	Planning goal	Warning DE	Adaptation DE
PTVs	V <sub>95</sub>	>95%	95%	93%
	Hotspot	<110% Rx dose	110%	110%
Spinal cord	D <sub>max</sub>	<45 or 50 Gy	Planning goal	10%
Brainstem	D <sub>max</sub>	<45 or 50 Gy	Planning goal	10%
Oral cavity	D <sub>max</sub>	No hotspot	110%	110%
Spared parotid <sup>a</sup>	D <sub>mean</sub>	<20 Gy	Planning goal	10%
Contralateral parotid <sup>b</sup>	D <sub>mean</sub>	N/A	Planning goal	10%
Cervical esophagus	D <sub>max</sub>	No hotspot	110%	110%
Mandible	D <sub>1cc</sub>	65–75 Gy	Planning goal	Planning goal
Cochlea	D <sub>mean</sub>	<35 Gy	Planning goal	10%
Larynx	D <sub>max</sub>	No hotspot	110%	110%
Brachial plexus	D <sub>max</sub>	65 or 66 Gy	Planning goal	Planning goal

*The DEs serve as thresholds to trigger the plan review for adaption in an adaptive radiotherapy workflow with RTapp.*

*<sup>a</sup>If planning goal achieved, DE relative to 20 Gy. If not and D<sub>mean</sub> < 21 Gy, DE are relative to 21 Gy.*

*<sup>b</sup>If planned PG D<sub>mean</sub> < 26 Gy then DE relative to 26 Gy.*

*DE, dosimetric endpoint.*



# Adaptivní radioterapie (ART)<sub>4</sub>



## • Kdy adaptovat?

- Studie Lee et al ukazuje, že všichni H&N pacienti budou benefitovat z replanu, parotidy se během léčby zmenšují a jejich radiační poškození je pak větší než bylo plánováno
- $D_{\text{mean}}$  vzroste o méně než 10% u 7/10 pacientů a více než 10% u 3/10 pacientů

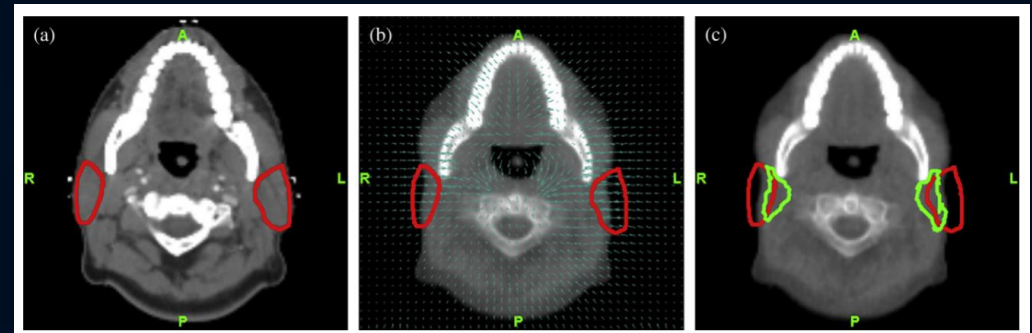
> Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2008 Aug 1;71(5):1563-71. doi: 10.1016/j.ijrobp.2008.04.013. Epub 2008 Jun 4.

### Assessment of parotid gland dose changes during head and neck cancer radiotherapy using daily megavoltage computed tomography and deformable image registration

Choonik Lee <sup>1</sup>, Katja M Langen, Weiguo Lu, Jason Haimerl, Eric Schnarr, Kenneth J Ruchala, Gustavo H Olivera, Sanford L Meeks, Patrick A Kupelian, Thomas D Shellenberger, Rafael R Mañon

Affiliations + expand

PMID: 18538505 DOI: 10.1016/j.ijrobp.2008.04.013

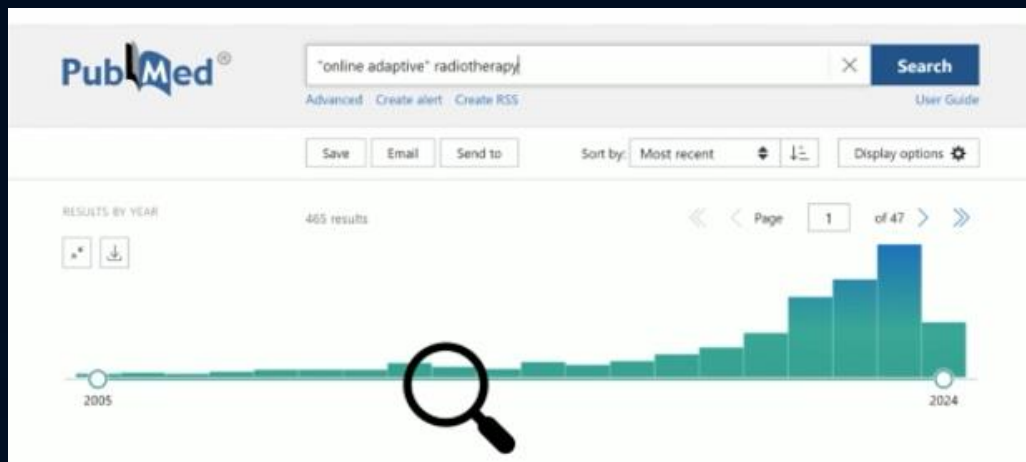


# Adaptivní radioterapie (ART)<sub>5</sub>



- Kdy adaptovat?

- Počet publikací týkajících se adaptivní radioterapie ve smyslu **online roste** exponenciálně



# Adaptivní radioterapie (ART)<sub>6</sub>



- Kdy adaptovat?
  - ESTRO pomůže?  
(SBRT means against)

ESTRO 2024 08:45 Daily adaptive radiotherapy is pushed by manufacturers in...  
10:00 Moderators: Lorenzo Placidi, Carsten Brink

**Moderators**

Lorenzo Placidi (Italy) CB Carsten Brink (Denmark)

Debate

**Objective**

Daily adaptive radiotherapy (DART) has recently been supported by relevant technological innovations, and we are now approaching the era of daily adaptation of treatment plans based on a patient's evolving anatomy. While manufacturers advocate widespread adoption of DART, some critics argue that this push is driven by commercial interests rather than robust clinical evidence. In addition, the benefits of the DART should also be assessed while maintaining at least the same quality standards. Potential critical issues for discussion include the challenges of technology implementation, regulatory oversight and the need for guidance. This discussion aims to explore the motivations behind manufacturers' promotion of DART and to review the existing clinical evidence to support its widespread adoption.

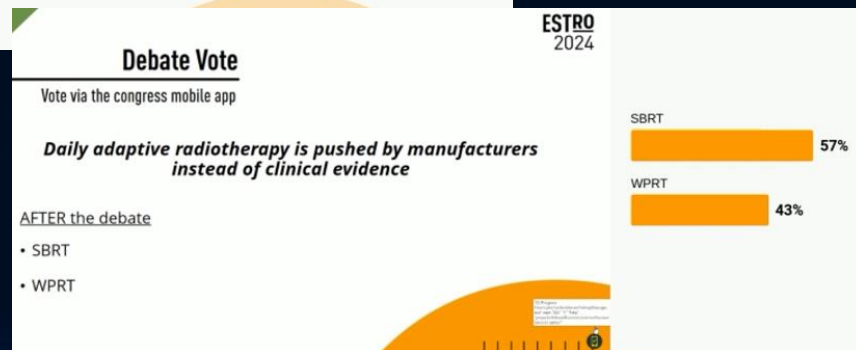
08:45 Introduction & voting

08:48 For the motion Sara Hackett (Netherlands)

09:03 Against the motion Mischa Hoogeman (Netherlands)

09:18 For the motion Pierre Blanchard (France)

09:33 Against the motion Amanda Calssie (Canada)



3-7 May 2024

Glasgow, UK

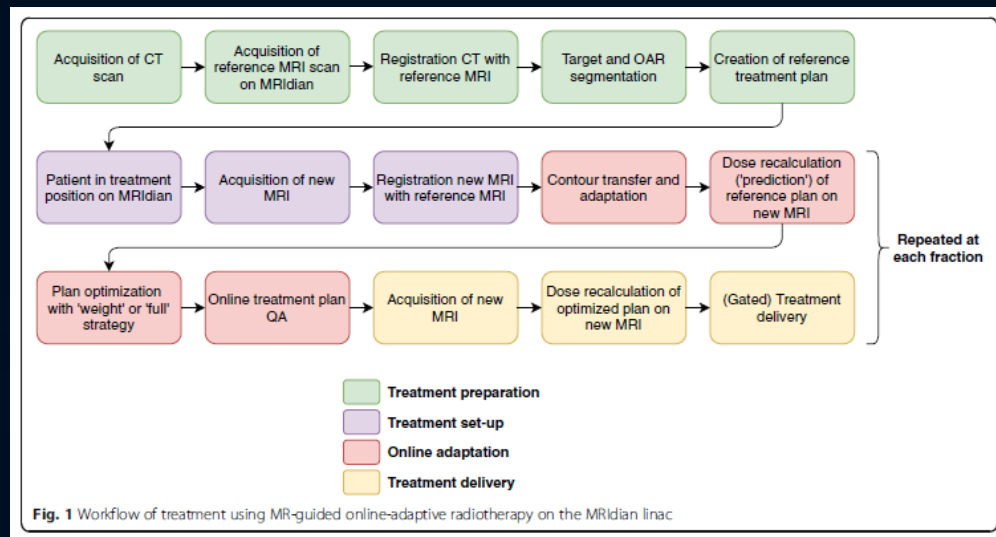
ESTRO  
2024

# Adaptivní radioterapie na MRL<sub>1</sub>



## • Workflow pro adaptace na MRIdian

- Recontouring pomocí deformabilní registrace
- Výpočet na deformované syntetické plánovací CT
- Automatické srovnání DVH a vyhodnocení dávkových constraints
- **Nezávislý výpočet v rámci TPS jiným algoritmem**

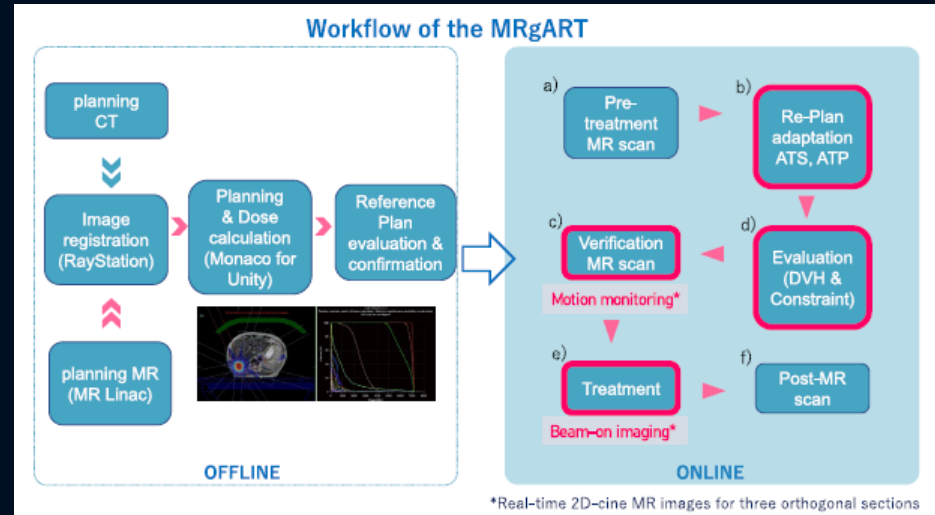


# Adaptivní radioterapie na MRL<sub>2</sub>



## • Workflow pro adaptace na Unity

- Recontouring pomocí deformabilní registrace
- Výpočet na deformované syntetické plánovací CT
- Automatické srovnání DVH a vyhodnocení dávkových constraints
- **Nezávislý výpočet** od jiného dodavatele



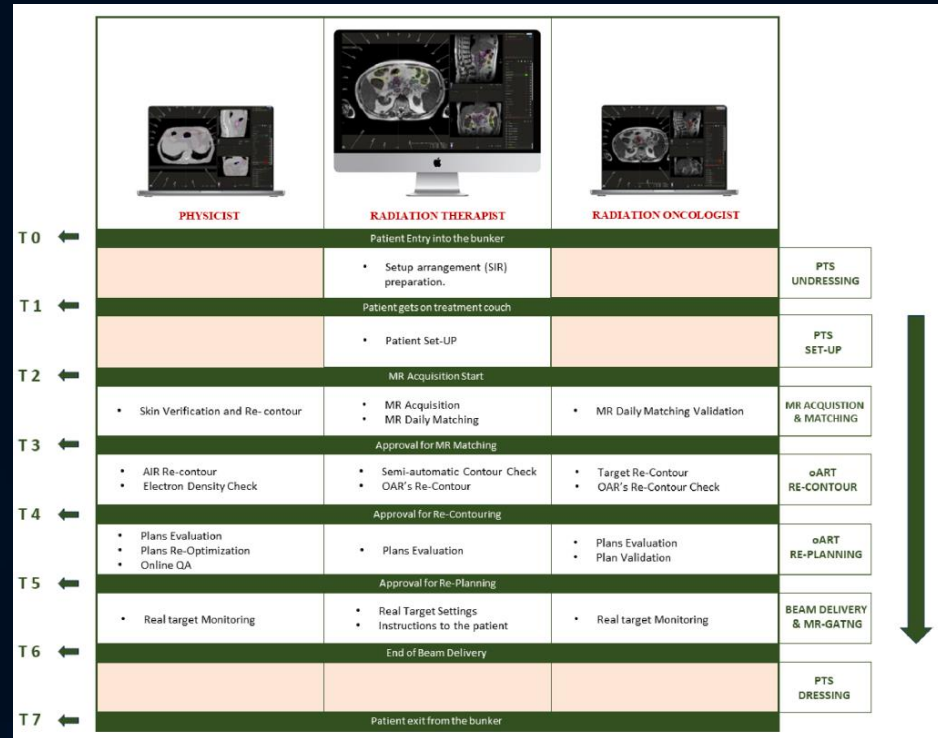


# Adaptivní radioterapie na MRL<sub>3</sub>



## • Workflow pro online adaptace

- Rozdělení adaptačního procesu dle profesí
- Nutnost kontroly elektronových densit a přítomnosti vzduchových bublin (soulad CT s aktuálním MR)

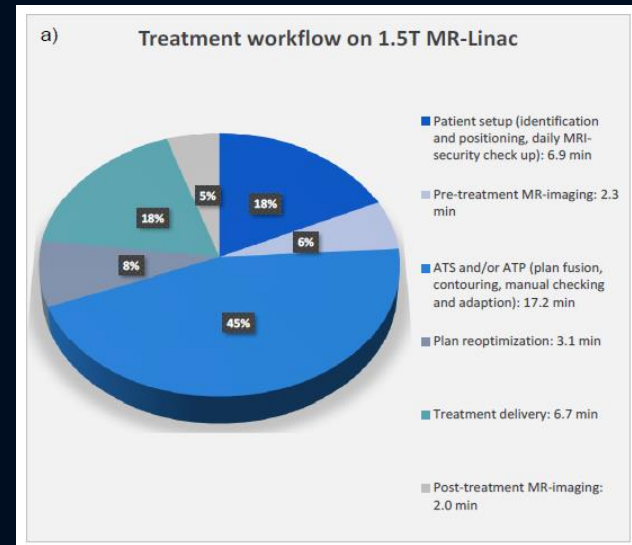
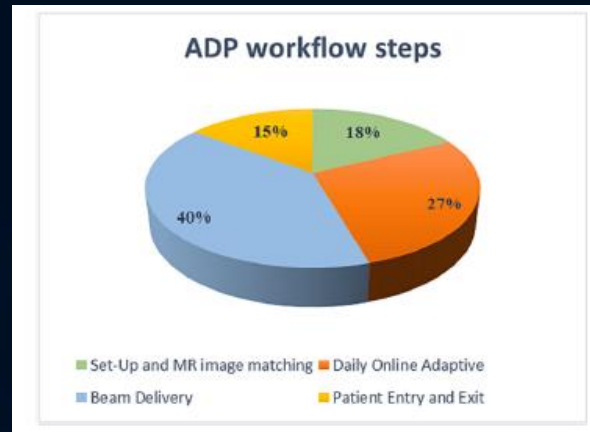


# Adaptivní radioterapie na MRL<sub>4</sub>



## • Časová náročnost adaptace na MRL

- Na Unity ≈ 38 minut (záleží na volbě ATP nebo ATS)
- Na MRIdian je median adaptovaného ozáření ≈ 34 minut (ADP)



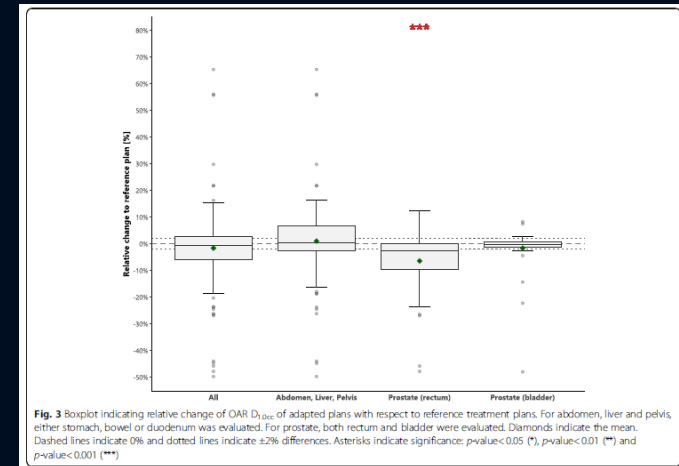
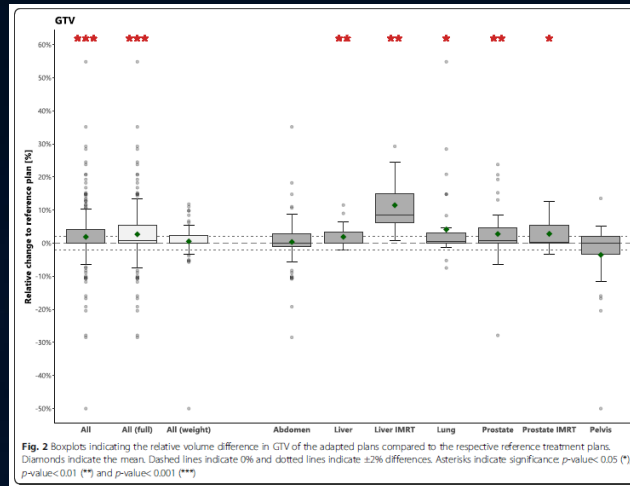
Reference: Potkrajcic V, Gani C, Fischer SG, Boeke S, Niyazi M, Thorwarth D, Voigt O, Schneider M, Mönnich D, Kübler S, Boldt J, Hoffmann E, Paulsen F, Mueller AC, Wegener D. Online Adaptive MR-Guided Ultrahypofractionated Radiotherapy of Prostate Cancer on a 1.5 T MR-Linac: Clinical Experience and Prospective Evaluation. *Curr Oncol.* 2024 May 9;31(5):2679-2688. doi: 10.3390/currncol31050203.

Votta C, Iacovone S, Turco G, Carrozzo V, Vagni M, Scalia A, Chiloiro G, Meffe G, Nardini M, Panza G, Placidi L, Romano A, Cornacchione P, Gambacorta MA, Boldrini L. Evaluation of clinical parallel workflow in online adaptive MR-guided Radiotherapy: A detailed assessment of treatment session times. *Tech Innov Patient Support Radiat Oncol.* 2024 Feb 13;29:100239. doi: 10.1016/j.tipsro.2024.100239.

# Adaptivní radioterapie na MRL<sub>5</sub>



- **Výsledky adaptace na MRL**
  - Studie v Zurychu – 52 pacientů – 238 online adaptací

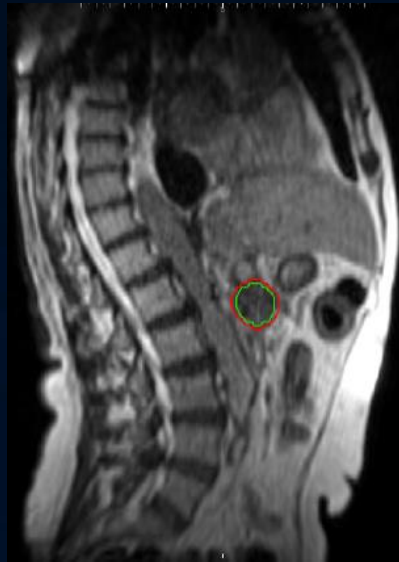


# Adaptivní radioterapie na MRL<sub>6</sub>



## • Realita ozáření na MRIdian

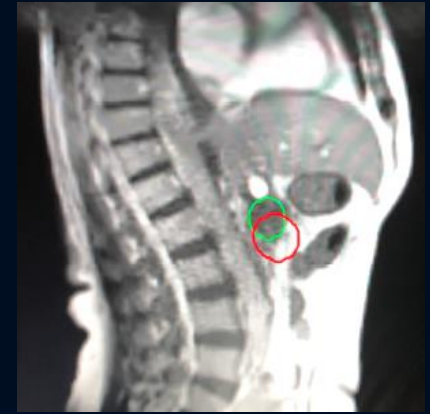
- Definice Tracking structure (zeleně) + cílový objem (červeně, TS+margin)
- MRIdian V2 umožňuje online kontrolu pouze v sagitálním řezu



Beam ON



Beam OFF



# Adaptivní radioterapie na MRL<sub>7</sub>

ÚSTAV  
RADIČNÍ TERAPIE



- Realita ozáření na MRIdian
- Gating ve 3 rovinách (verze a3i)
- Vizualizace beamu a MLC segmentu
- Ozáření technikou IMRT

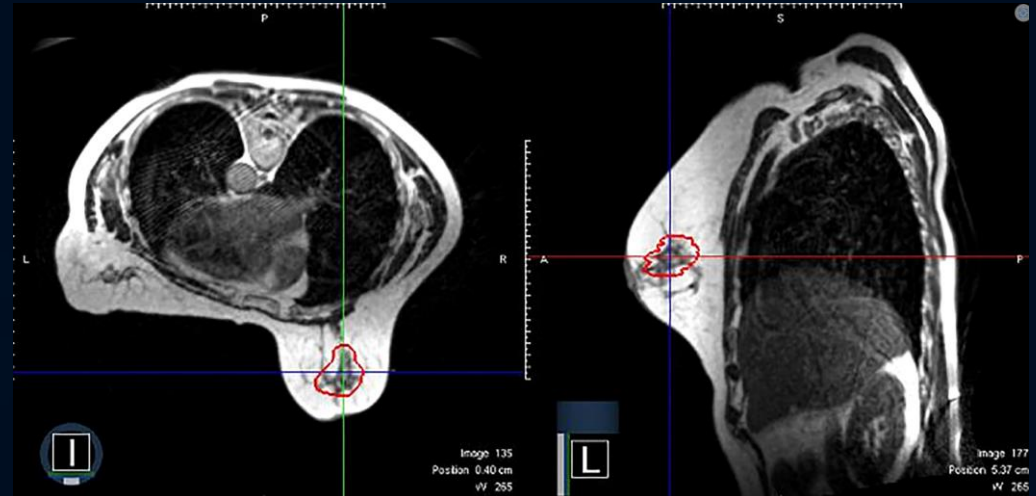


# Adaptivní radioterapie na MRL<sub>g</sub>



- Další adaptace na MRL

- Ozáření prsu v pozici prone
- APBI – 30 Gy / 5 frakcí (obden)
- Patientky po lumpektomii s negativními okraji



???

ÚSTAV  
RADIČNÍ TERAPIE



Is future coming here?

