

Patientveiligheid bij adaptieve radiotherapy Unity-MRLinac

Erik van der Bij
Klinisch fysicus

Radboudumc

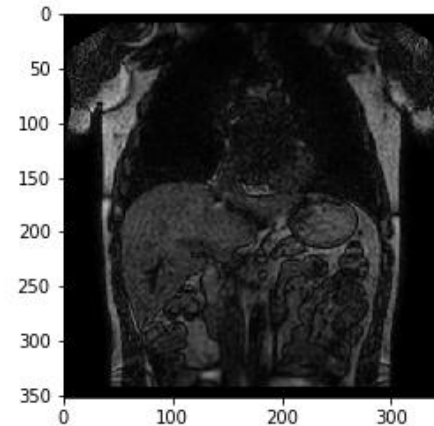
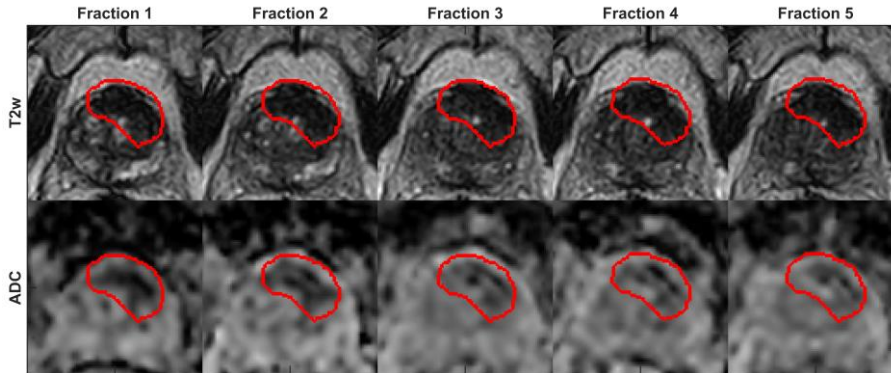
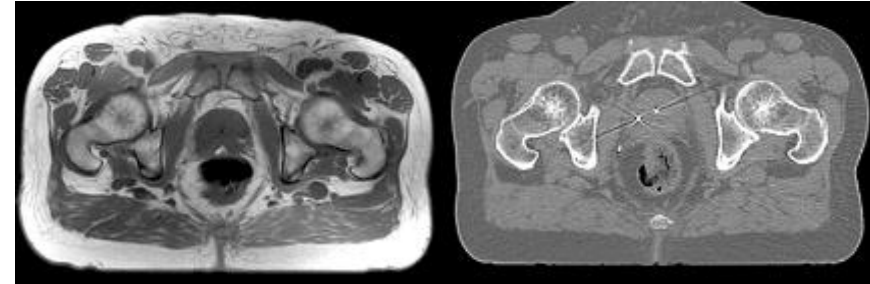
Disclosures

Radboudumc is deelnemend centrum binnen het Elekta MR-Linac consortium en heeft een onderzoekssamenwerking met Elekta.

Radboudumc

Waarom MRLinac

- Beter contrast
- Dagelijkse planaanpassingen mogelijk
- Real-time imaging en gating/tracking
- Sturen op functionele imaging



Unity MR-Linac

MRI gestuurde radiotherapie

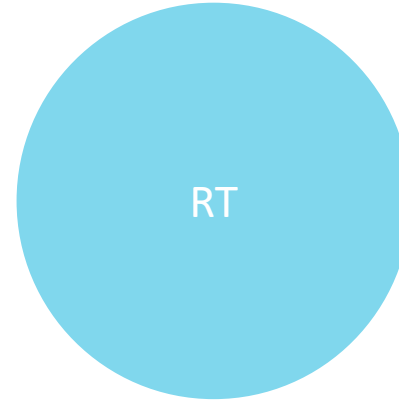
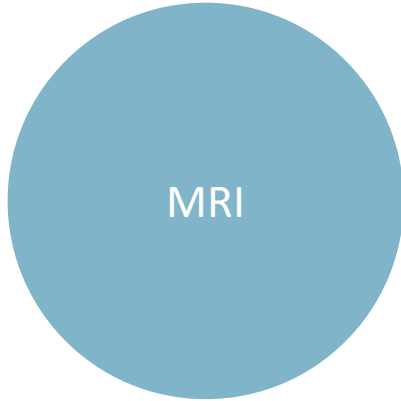
- 6MV FFF beam
- 1.5 Tesla magnetic field
- Dagelijkse plan aanpassingen

@Radboudumc sinds november 2020



Patiëntveiligheid

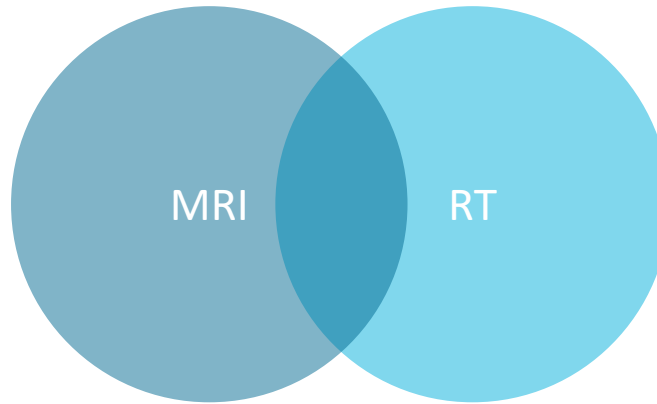
- Projectile Risk (MR-Safety)
- RF risk
- Passive and Active implants
- Claustrophobia
- Noise
- ...



- Admin. Errors
 - Patient
 - Plan
 - Prescription
 - Delineation /Margin
- Exec. Errors
 - Modeling
 - Linac
 - Data transfer
 - Setup

Combinatie risico's

- Projectile Risk (MR-Safety)
- RF risk
- Passive and Active implants
- Claustrophobia
- Noise
- ...

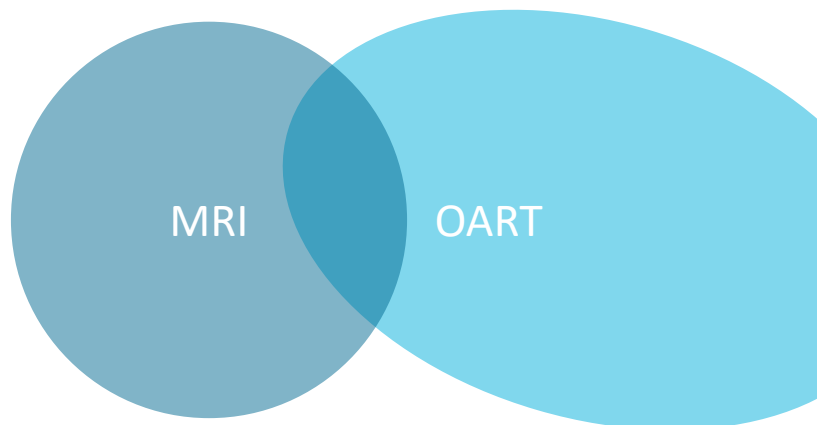


- **Geometric Accuracy**
 - B0, GNL, Bandwidth
- **Lorentz-force**
 - B0-direction
 - Electron Return Effect
 - Electron Stream Effect
 - Dosimetry
- **Linac-MRI interactions**

- Admin. Errors
 - Patient
 - Plan
 - Prescription
 - Delineation /Margin
- Exec. Errors
 - Modeling
 - Linac
 - Data transfer
 - Setup

Herwaardering RT risico's

- Projectile Risk (MR-Safety)
- RF risk
- Passive and Active implants
- Claustrophobia
- Noise
- ...



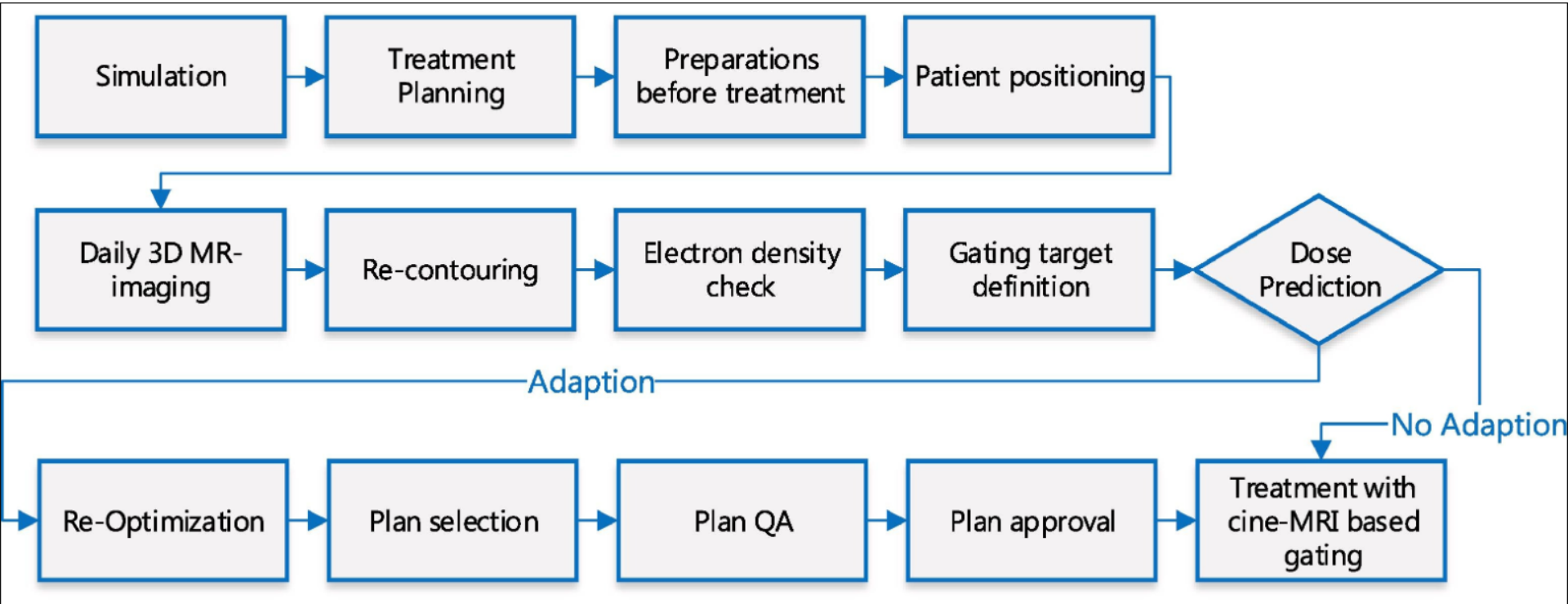
- **Geometric Accuracy**
 - B0, GNL, Bandwidth
- **Lorentz-force**
 - B0-direction
 - Electron Return Effect
 - Electron Stream Effect
 - Dosimetry
- **Linac-MRI interactions**

- Admin. Errors
 - Patient
 - Plan
 - Prescription
 - **Delineation /Margin**
- Exec. Errors
 - **Modeling Electron density**
 - Linac
 - Data transfer
 - Setup

a Process Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (P-FMECA)

- **Vooraf**
 - 4 maanden voor start
- **Multidisciplinair**
 - 2 radiotherapeuten
 - 2 klinisch fysici
 - 2 MBB'ers
 - Moderator
- **Procesanalyse**
- **Potentiële risico's identificeren**
- **Inschatting Ernst en waarschijnlijkheid**
- **Mitigatie**

Procesketen



89 geïdentificeerde risico's

Risico's voor mitigatie

Number of risks (prior)		Severity Level				
		1 negligible	2 minor	3 noticeable	4 critical	5 catastrophic
Probability Level	1 hardly ever	0	0	0	1	0
	2 very rarely	1	1	0	2	6
	3 rarely	2	5	4	20	2
	4 occasionally	7	8	3	25	0
	5 frequently	1	0	0	1	0

Risico's na mitigatie

Number of risks (post)		Severity Level				
		1 negligible	2 minor	3 noticeable	4 critical	5 catastrophic
Probability Level	1 hardly ever	1	14	4	2	0
	2 very rarely	3	16	13	0	0
	3 rarely	3	8	11	0	0
	4 occasionally	6	7	0	0	0
	5 frequently	1	0	0	0	0

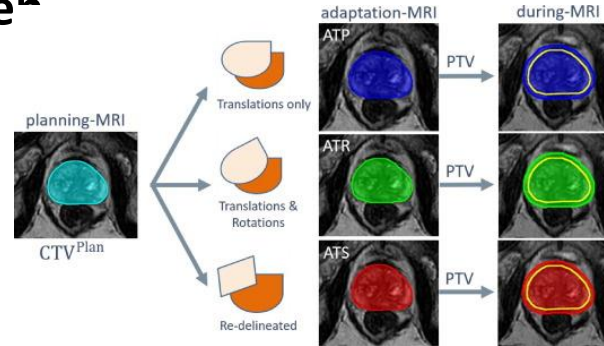
The most critical risks :

- unknown existence of a MRI-incompatible cardiac pacemaker **(ICD)**
- **wrong recontouring** of the GTV by the physician of the day
- considerable errors in the assignment of the **electron density for dose calculation.**

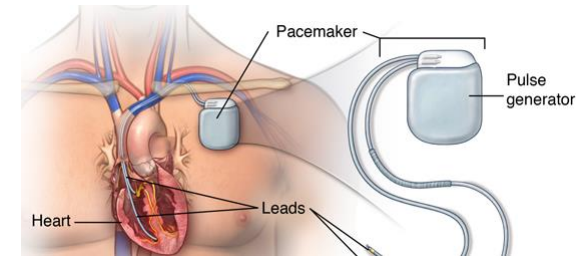
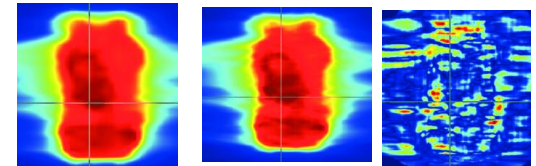
Ervaringen Radboudumc

- Implantaten en ICDs en overige lichaamsvreemde stoffe~

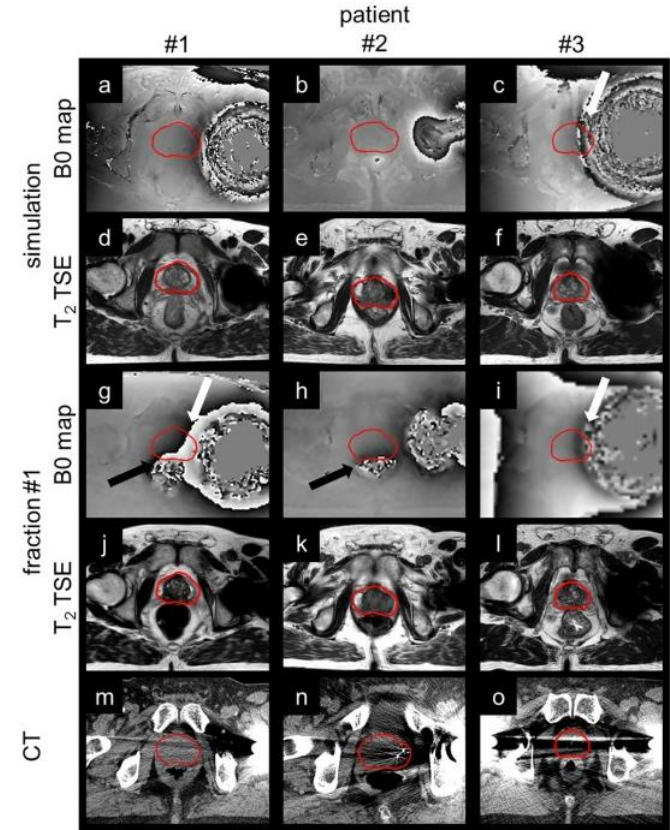
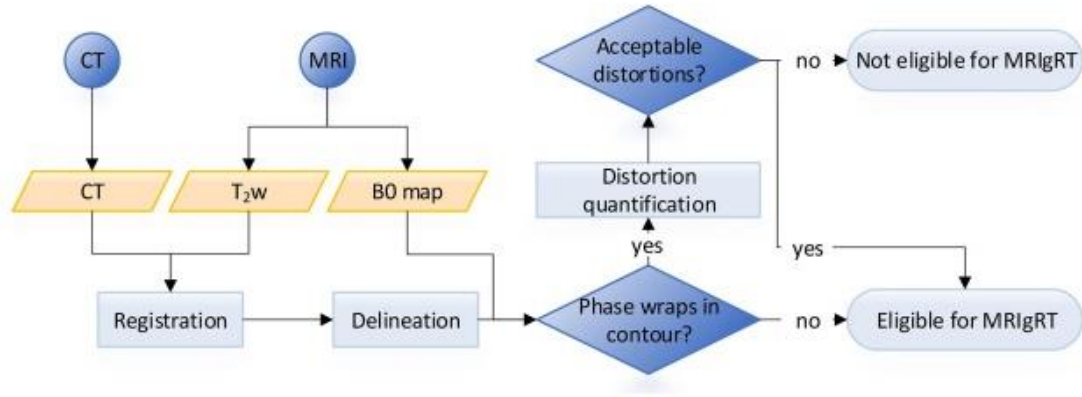
- Target Delineation



- Secondaire dosisberekening



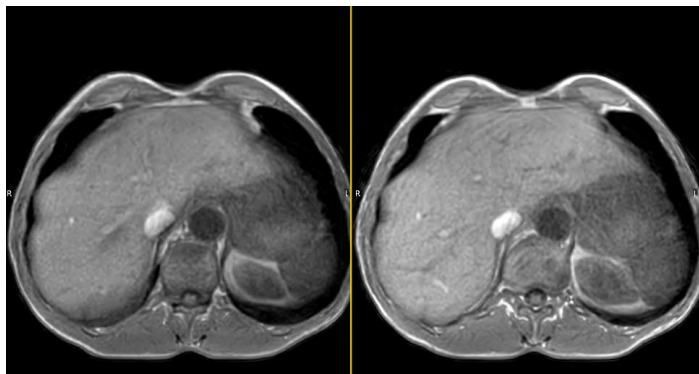
Treating patients with a metallic hip prosthesis using MRigRT



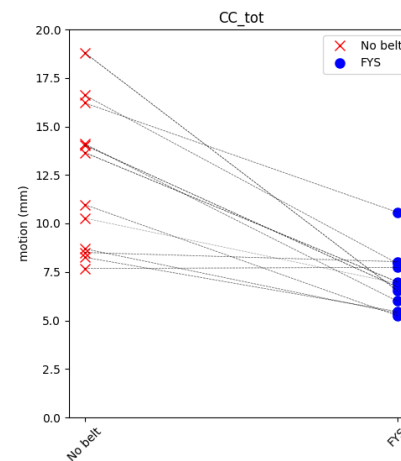
Reduction of breathing motion



- Improved Image quality



- Reduction of treatment margins

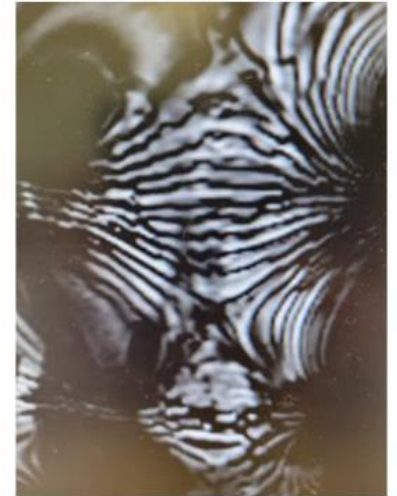


Product testing

- Commissioning buikband
- Prospectieve Risico Inventarisatie



- Beeldvorming 2^e patient



- **Altijd voorbereid zijn op verrassingen!**

Multi-institutional experience treating patients with cardiac devices on a 1.5 T MR-linac and workflow development for thoracic treatments

PRI en mitigatie vergeleken tussen 3 instituten.

- Afweging kosten baten
- Patiënt monitoring (geen direct zicht, labyrinth)
- Geometrische vervormingen door device

21 Patiënten Succesvol bestraald op Unity MRLinac

Monitoring op basis van pulse-oximeter

Patientspecifieke B0 map

Onbekende onbekenden

Risico inventarisatie van de risico inventarisatie:

- Bekende onbekenden dominant in PRI
- Patiënt specifieke meting voor beoordeling risico (B0map)
- Zwarte zwanen nooit ondervangen met deze methode

Risico-inventarisaties zijn startpunt.

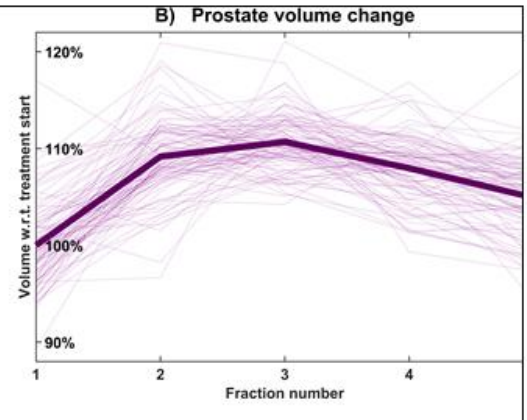
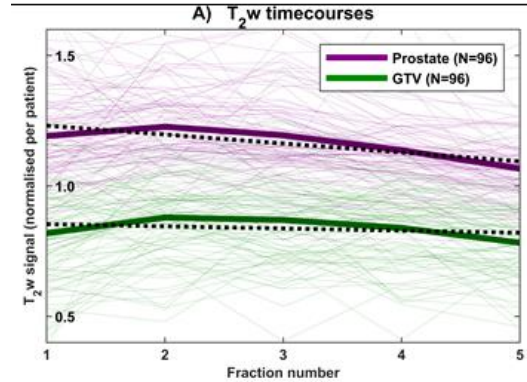
Veiligheid volgt uit scholing en bewust handelen



Intekenen met de patiënt op tafel

- Intekening van GTV is grootste overblijvende onzekerheid in OART
- Dagelijks opnieuw intekenen onder tijdsdruk

Extra risico of juist Mitigerend?
en is het Noodzakelijk?

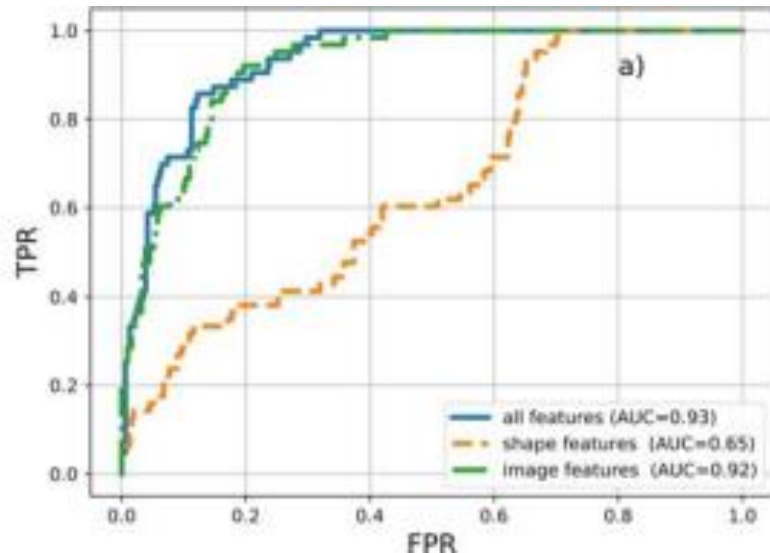


Mitigatie

Radboudumc:

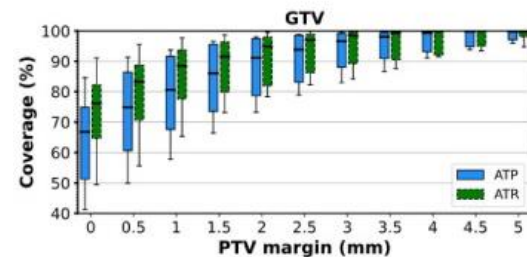
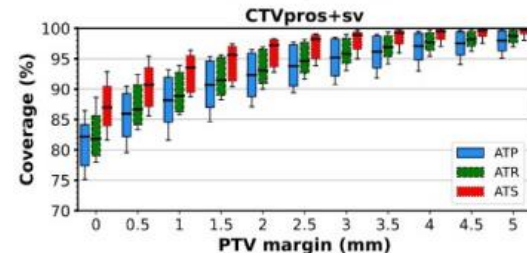
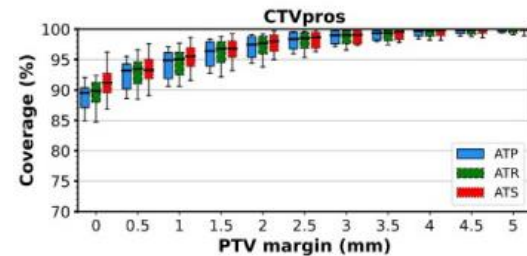
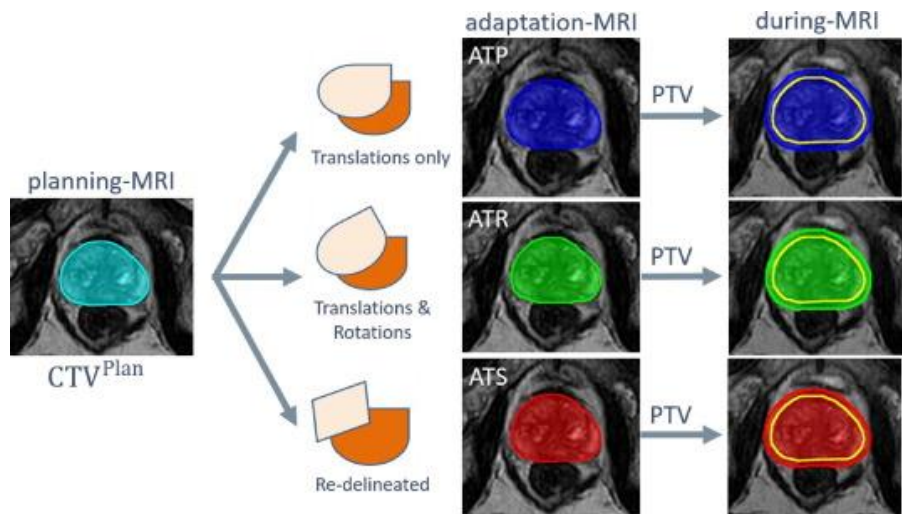
- Scholing
- 4 Ogen principe
- Laagdrempelig signaleren

Toekomst(?) Data gedreven oplossing:

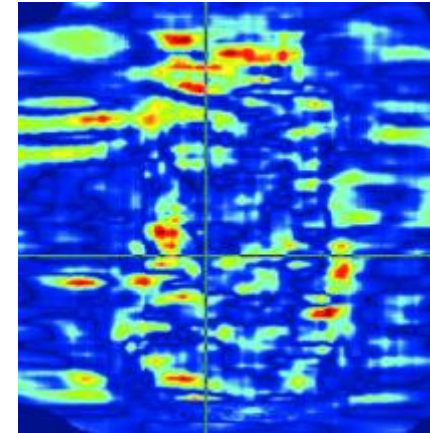
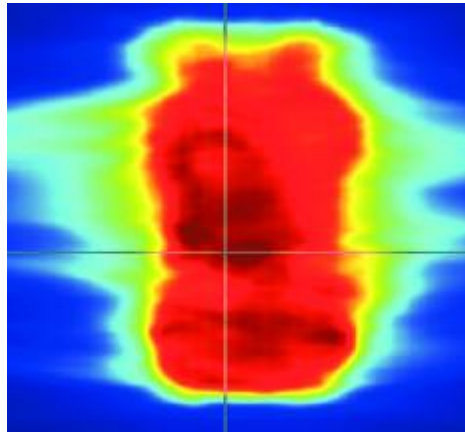
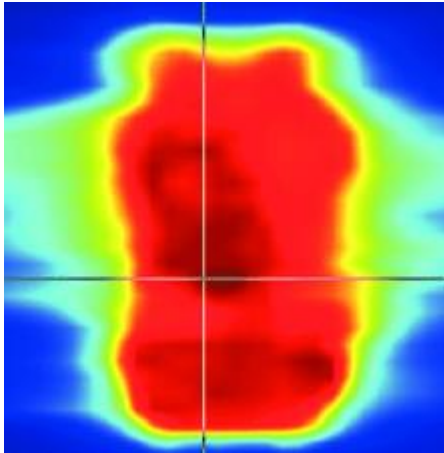


Papaconstadopoulos etal (2021) PMB

Noodzakelijkheid?



Secundaire dosisberekeningen



Secondaire dosisberekening (waarom)

Reden noodzaak onafhankelijke controle:

- Geen ervaring met MR-Linac en Monaco
- Geen mogelijkheid tot controle adapt plannen voor afstralen
- Geldende aanbevelingen veldnormen

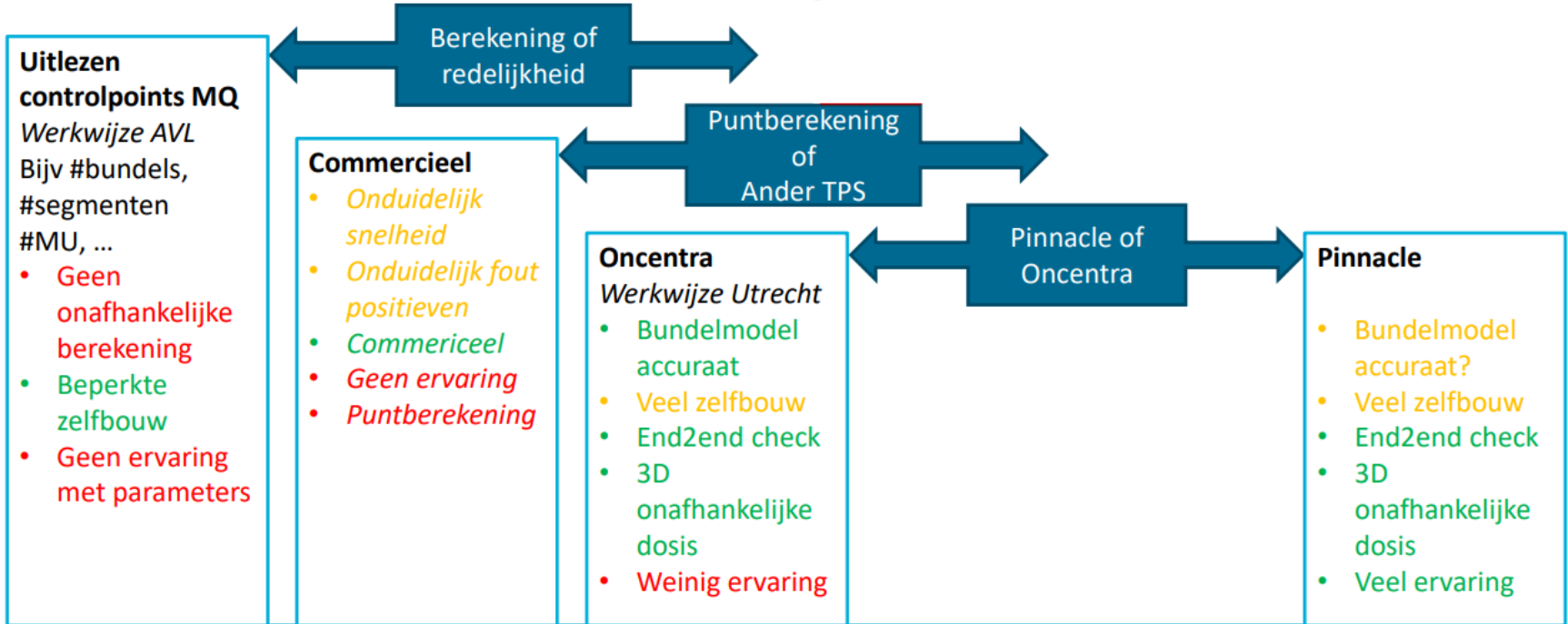
Mogelijke Fouten uit PRI:

- Ondervangen onnauwkeurigheden dosisberekening Monaco
- Ondervangen menselijke fouten
 - *Per ongeluk bundel/segment verwijderen na optimalisatie; ME's aanpassen*
 - *verkeerde toekening density overrides (layering);*
 - *Verkeerde referentieplan kiezen;*
- Ondervangen communicatie fouten Monaco naar Mosaic
- Ondervangen fouten/bugs in Monaco

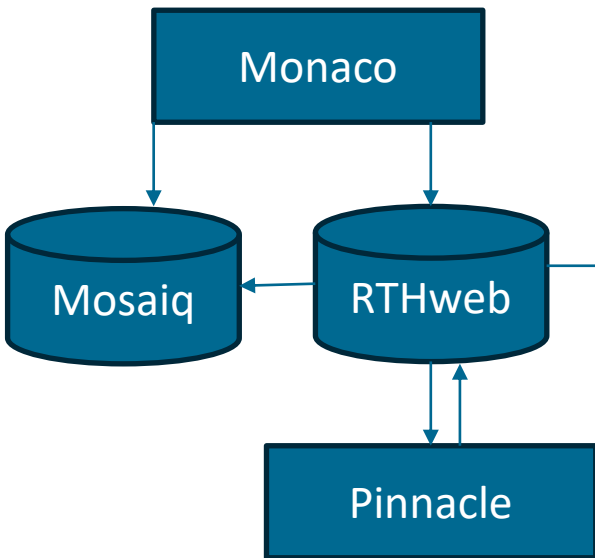
Risico's MRI gestuurde radiotherapie

Dose computation error due to HW / SW error	III (5/2)	Independent dose calculation with “Adaptive QA Tool”	III (4/2)
		regular QA measurement of selected, adapted patient plans and “Adaptive QA Tool”	II (3/2)
Dose computation error due to false base data	III (5/2)	Independent dose calculation with “Adaptive QA Tool”	III (4/2)
		regular QA measurement of selected, adapted patient plans and “Adaptive QA Tool”	II (3/2)
Dose deviations due to highly modulated plan	III (4/4)	Use of Plan Check Tool	II (3/3)
Dose deviations due to false density overrides	III (5/3)	4-eye principle	III (4/3)

Secondaire dosisberekening (hoe)



Implementatie



Radiotherapie Webv1.12.1 Radboudumc Gebruiker
Locatie
Datum

Patient
Patient nummer

Algemeen Help

Kies Patient Selected Plan:

Actien Agenda's

Diagprogramma

Taken

Positionering

OB

Ochtendmeting

COVID-19

Patient

Radiotherapie Status

MRInac

Secundaire dosis berekening

Connect Check

Status	DVH Name	volume	dosemean	dosemax	dosemin
	AnalCanal	16,54 (-0,2%)	12,23 (-0,2%)	35,64 (-3,1%)	1,94 (1,8%)
	AnalCanal	16,19 (-1,0%)	12,19 (4,3%)	34,73 (1,8%)	1,97 (10,2%)
	Bladder	112,54 (-0,0%)	17,44 (-5,5%)	37,75 (-1,3%)	1,42 (6,3%)
	Bowel	18,12 (0,0%)	4,30 (-3,7%)	19,94 (-12,5%)	1,38 (-2,2%)
	CTV_Prostate	42,79 (0,3%)	36,52 (-1,4%)	38,77 (-0,9%)	34,90 (-2,4%)
	CTV_SeminalVes	5,81 (-0,5%)	33,90 (-0,4%)	37,54 (0,4%)	30,96 (-2,4%)
	Femur_Head_L	189,22 (0,0%)	10,75 (0,9%)	19,73 (-1,5%)	0,88 (10,2%)
	Femur_Head_R	198,60 (0,1%)	8,76 (2,8%)	19,72 (2,4%)	0,54 (-3,7%)
	GTV	1,18 (2,3%)	36,73 (-4,7%)	38,44 (-6,0%)	35,86 (-4,2%)
	GTV+3mm	4,88 (2,3%)	36,74 (-3,9%)	38,77 (-4,6%)	35,09 (-2,8%)

Resultaten

- **Alleen False Positives gevonden:**
 - Implementatiefouten
 - Andere sequencing Linac
 - Connectiviteitsproblemen
- **Wachttijd met patiënt op tafel**
- **PatientQA geen problemen op MRLinac**



Wat nu?

Secondaire dosisberekening (waarom)

Reden noodzaak onafhankelijke controle:

- ~~• Geen ervaring met MR Linac en Monaco~~
- Geen mogelijkheid tot controle adapt plannen voor afstralen
- Geldende aanbevelingen veldnormen

Mogelijke Fouten uit PRI:

- ~~• Ondervangen onnauwkeurigheden dosisberekening Monaco~~
- Ondervangen menselijke fouten
 - ~~• Per ongeluk bundel/segment verwijderen na optimalisatie; ME's aanpassen~~
 - verkeerde toekening density overrides (layering);
 - ~~• verkeerde referentieplan kiezen;~~
- ~~• Ondervangen communicatie fouten Monaco naar Mosaik~~
- ~~• Ondervangen fouten/bugs in Monaco~~

Conclusies

- Bekende onbekenden dominant afwegingen risico's
- Patiënt specifieke metingen en data worden onmisbaar

Risico-inventarisaties zijn startpunt.

Veiligheid volgt uit scholing en bewust handelen

Slecht werkende veiligheidsmaatregelen leiden tot vaak vergeten kosten en mogelijk tot verminderde veiligheid