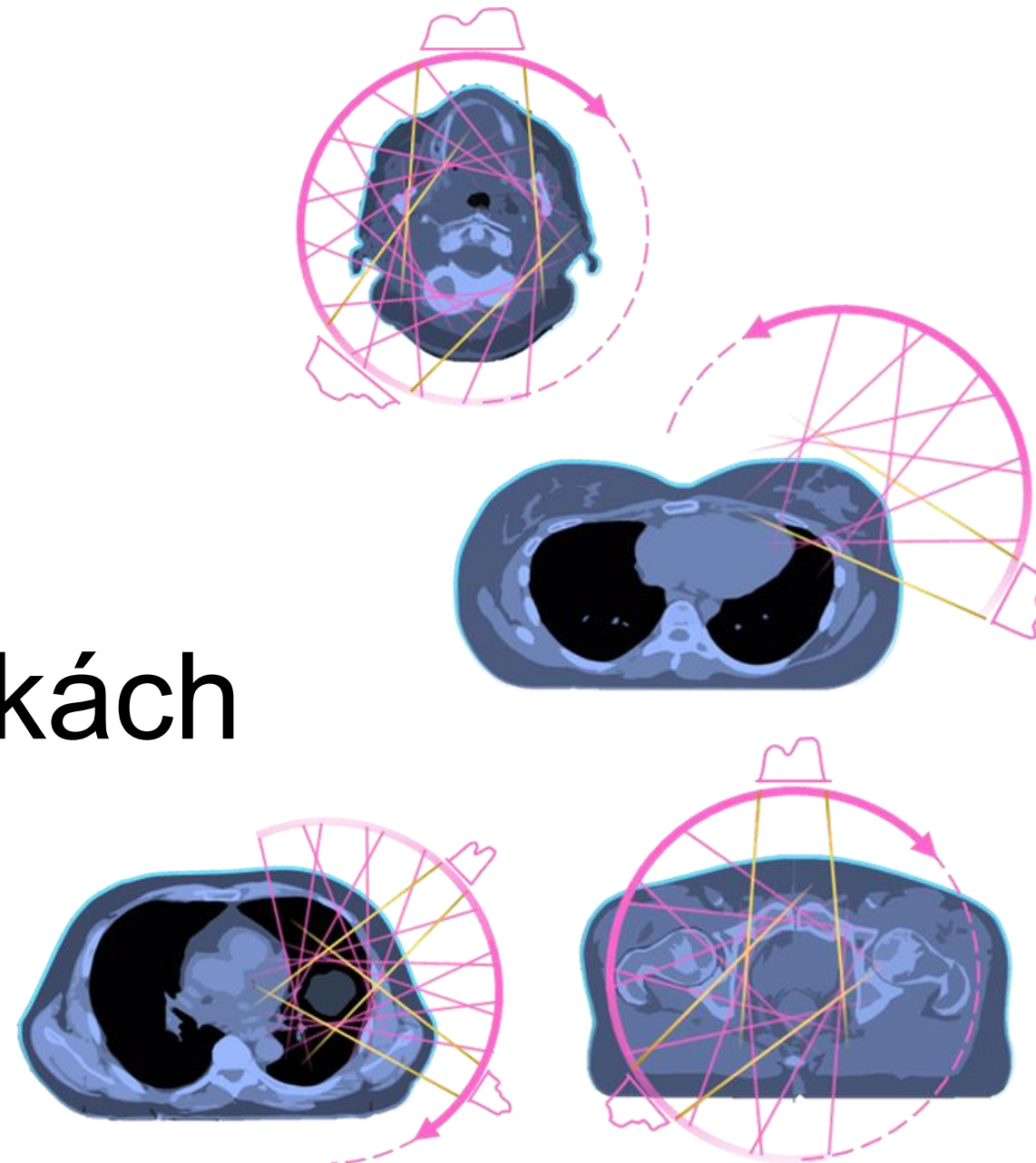


Nové stupně volnosti v plánování a ozařovacích technikách

13. Konference radiologické fyziky
Srní 8.-10.dubna 2025

Martin Steiner, Kamila Foltýnová, Martin Šefl



Okolnosti

... a nezadržitelný vývoj

Na ASTRO 2024 (podzim) byl představen nový produkt **Varian RapidArc Dynamic** (kompatibilní s ARIA 18.1 a TrueBeam 4.1), přinášející nové stupně do plánování a ozařování.

Je to tedy druhý produkt, po **Enhanced Leaf Model** (z^{přesněný} model MLC), který v krátké době po sobě významně posouvá problematiku plánování, tentokrát k **vyšší efektivitě**.

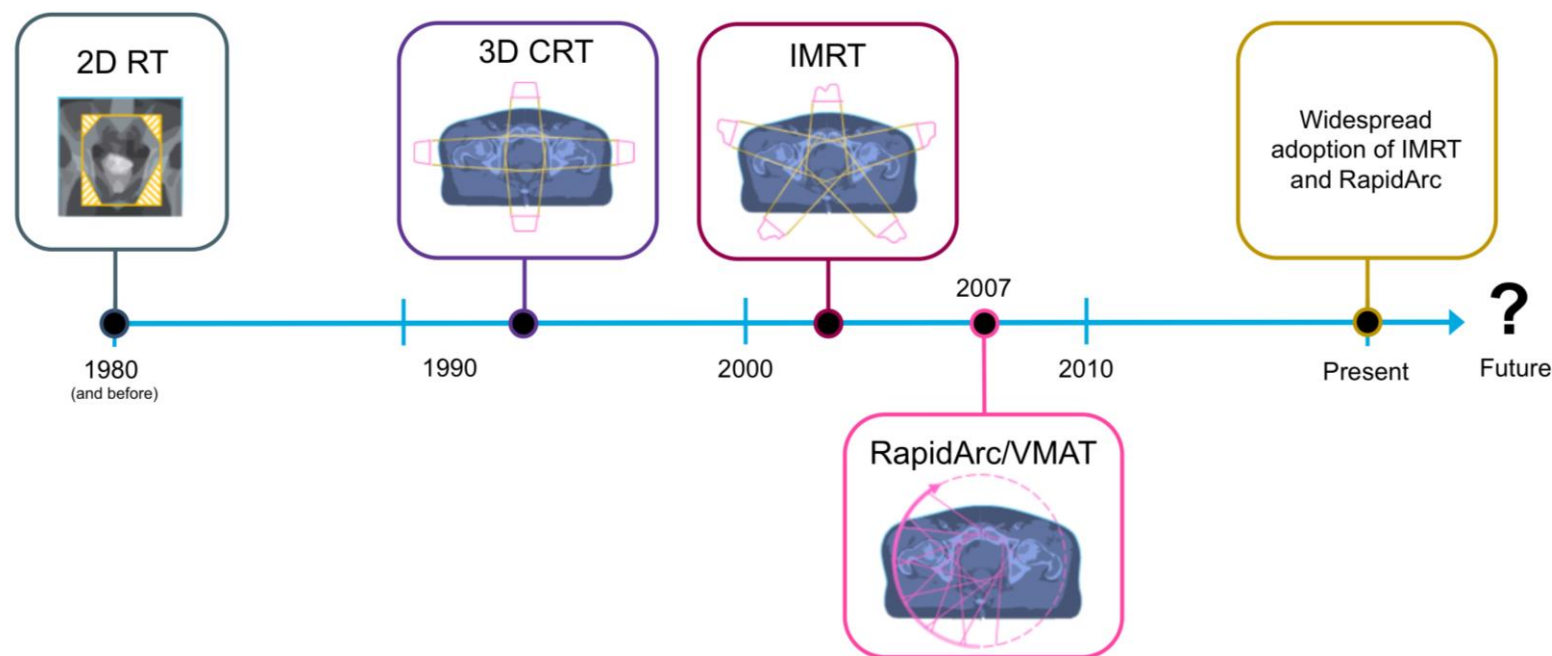
V tuto chvíli je RapidArc Dynamic v období zkušebního provozu na několika zapojených centrech, objevují se první abstrakty a články. Vytvářejí se určité startovní návody pro různé anatomie ozaření. **Množství podrobných informací je zatím poměrně malé.**

Snažíme se to tohoto zajímavého procesu **nastoupit** tím, že k produktu získáme (coby distributor) co nejdříve přímý přístup s možností provádět vlastní analýzu, a přes ni navazovat spolupráce s místními klinickými pracovišti. Nabrané fyzikální / klinické zkušenosti potom předávat dál.



Trocha historie

Vývoj ozařovacích technik



Už to bylo zralé na něco nového😊

2D radioterapie (2D RT)

Používala jednoduché rentgenové snímky (RTG) k určení cílové oblasti.

Ozařování probíhalo většinou z jednoho nebo dvou směrů.

Omezená přesnost – zdravé tkáně často dostávaly vysoké dávky.

3D konformní radioterapie (3D CRT)

Zavedení CT skenování umožnilo přesnější určení tvaru a polohy nádoru.

Paprsky jsou tvarovány podle objemu nádoru (konformita).

Zlepšení poměru dávky mezi nádorem a zdravými strukturami.

Intenzitou modulovaná radioterapie (IMRT)

Umožňuje měnit intenzitu záření v rámci jednotlivých polí.

Dále zlepšuje konformitu, více šetří okolní zdravé orgány, **pokud je současně zajištěno IGRT**.

Vyžaduje složitější plánování a delší čas ozařování.

Volumetricky modulovaná oblouková terapie (VMAT)

Pokročilejší forma IMRT, kde se záření dodává během otáčení hlavičky kolem pacienta.

Efektivní využití dávky a kratší časy ozařování.

Kombinování VMAT s IMRT

Co ukázaly dřívější studie

Zlepšené pokrytí cílového objemu a homogenita

- Vyšší pokrytí PTV (D95 ~48,4 Gy vs. 47,6 Gy u VMAT)
- Lepší index konformity (CI 0,79 vs. 0,58 u 3DCRT)

Lepší šetření zdravých orgánů

- Plíce: výrazné snížení V5Gy (51,45 % vs. 90,7 % u VMAT)
- Srdce: ~10% snížení dávky pro rakovinu levého prsu
- Kontralaterální prso: nižší střední dávka (2,34 % vs. 4,57 % u VMAT)

Efektivnější léčba

- Méně monitorovacích jednotek (MU): ~675 MU (Hybrid) vs. ~2098 MU (IMRT)
- Kratší doba ozařování: 32 s Hybrid vs. 75 s IMRT

Ale: Zvýšená složitost a nejistota plánování

- Vyžaduje složitější plánování a optimalizaci
- Delší počáteční doba plánování kvůli úpravám vážení



Dynamický kolimátor během VMAT

Co ukázaly dřívější studie

Zhang et al. 2010 – Trajectory-optimized dynamic collimator VMAT (Coll-VMAT)

- Zarovnávat úhel kolimátoru s míchou pro každý úhel gantry během VMAT kyvu
- Lepší pokrytí PTV (D95: 22,5 Gy) a snížená dávka na míchu (D05: 9,8 Gy) ve srovnání s klasickým VMAT a IMRT

! Dynamickou rotace kolimátoru urychlovače nepodporují, mechanická omezení (rychlost rotace) vyžadují zpomalení gantry

Lyu et al. 2018 – Fully dynamic collimator VMAT (DC-VMAT)

- Synchronizovaná rotace kolimátoru v průběhu kyvu v souladu s geometrií cílového objemu
- Redukce dávky mimo cílový objem (Pokles R50 o 20.3%) a lepší šetření OAR (max/střední dávka klesla o 4,5%/2,5%)
- Lepší výsledky v dávkách s jedním kyvem než klasický VMAT se třemi kyvy

! Ne všechny urychlovače umožňují soustavnou rotaci kolimátoru, přidaná složitost plánování a QA

Kim et al. 2018 – Optimized angles per arc segment (quasi-dynamic)

- Optimalizovaný úhel kolimátoru pro část kyvu na základě obrysu cílového objemu
- Snížená velikost pole o ~22% a MU o ~17% zlepšení šetření okolních tkání pro vícečetné cílové objemy, lepší modulace

! Žádná podpora pro pravou dynamický pohyb kolimátoru, manuální nastavení zvyšuje práci při plánování

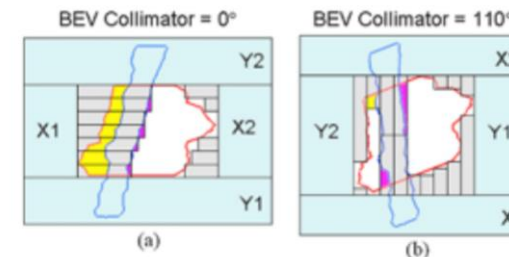
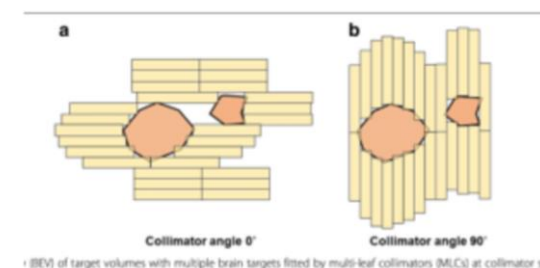
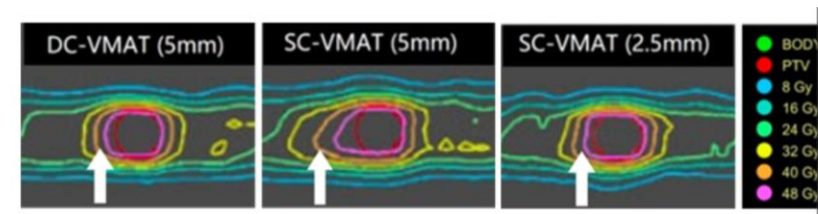


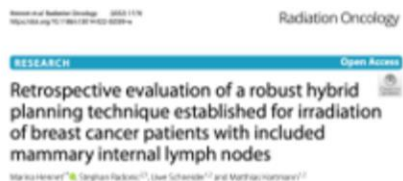
Fig. 1. Beam's-eye view (BEV) of a multileaf-collimated field that blocks the cord (blue curve) while treating a paraspinal lesion planning target volume (PTV; red), at (a) 0° and (b) 110° collimator angle. Optimal collimator rotation helps reduce excess blocking of PTV in volumetric modulated arc therapy.



(BEV) of target volumes with multiple brain targets fitted by multi-leaf collimators (MLCs) at collimator angle 0° and 90°.

Výzvy

Technické překážky v plánování a doručení dávky



"The complexity in treatment planning is increased for a hybrid planning technique..."

To obtain high quality plans, plans of both techniques must be generated by experienced planners." ¹¹



"... the mean treatment time for hybrid-VMAT... was longer than the mean treatment time of pure-VMAT, which was much shorter than the mean treatment time of F-IMRT." ¹²



"...the optimal delivery mode for hybrid plans should be determined... which allows IMRT control points (with no gantry change) within a VMAT control point sequence (with gantry changes)." ¹³



"Current technology does not allow collimator rotation during VMAT delivery."

"Optimal collimator angle must be selected manually based on user's experience."

"... can increase planning workload." ¹⁴



Dynamic collimator plan "required slower gantry rotation to accommodate..."

"not all linear accelerators support continuous collimator rotation."

"Additional complexity in plan optimization and delivery coordination." ¹⁵

Co z toho vyplynulo pro design nové ozařovací techniky?

Kombinace VMAT / IMRT	Dynamický kolimátor
Jednoduché a efektivní plánování	Rotace kolimátoru bez snížené rychlosti gantry
Rychlejší ozáření	Automatizace a nezávislost na uživateli

RapidArc Dynamic

A turning point for arc therapy



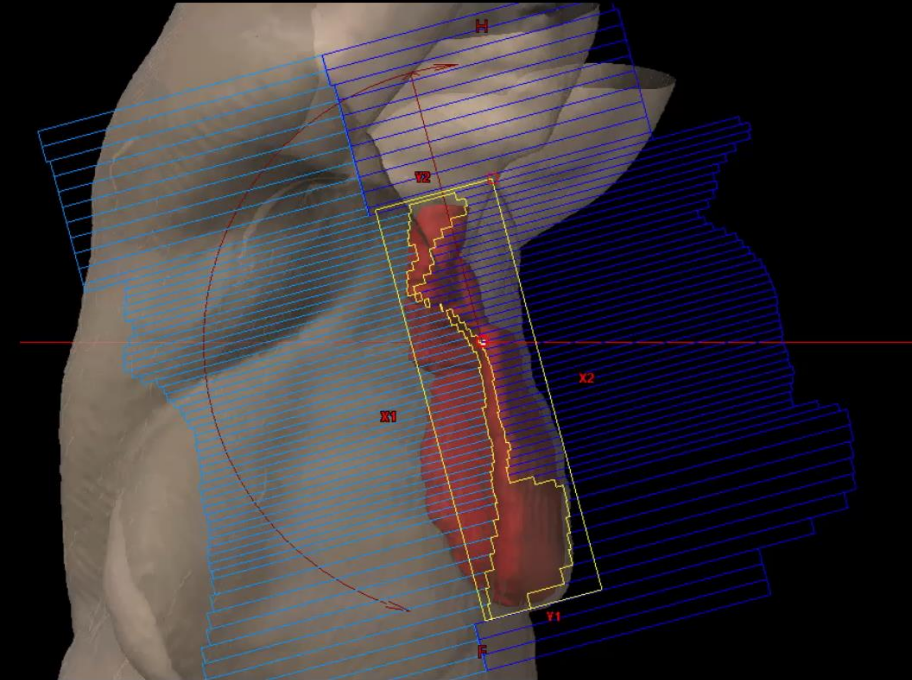
Nová generace
optimalizačních algoritmů



Statické modulované porty
během kyvu (STAMP)



Dynamická rotace kolimátoru
během kyvu



Optimalizační algoritmus

Redesigned, GPU-Centric

Vylepšený optimalizační engine

- kompletně využívá GPU
- princip Direct Aperture Optimization (DAO)

Multi-Resolution optimalizace

- 8-úrovňové zjemňování v iterativním procesu

Iterativní proces

- rozdělení do sektorů kontrolními body (zahrnuje STAMP)
- výběr sektorů, vytvoření cílové fluence, optimalizace pozic lamel MLC / MU v sektoru

Integrovaná Intermediate Dose Correction

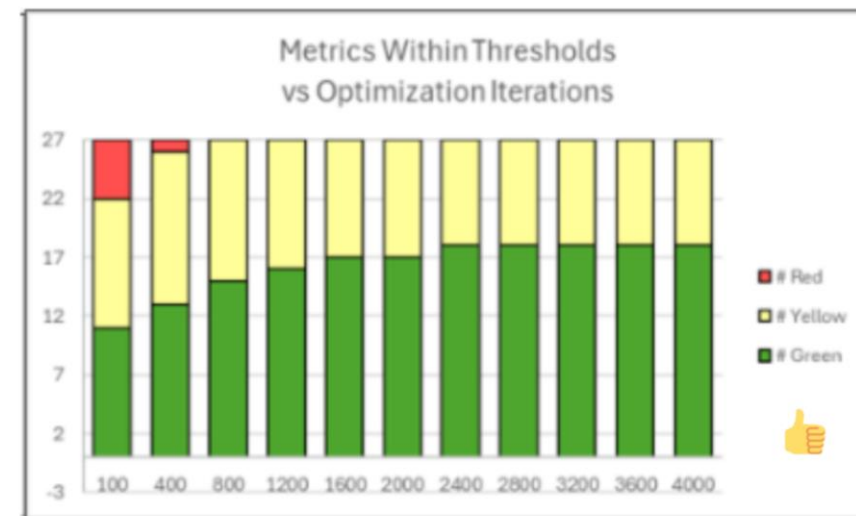
- výpočet dávky pomocí přesného algoritmu (AAA / Acuros XB)
- aplikování korekční matice a reoptimalizace s jemnějšími sektory

Vyhazení

- méně nespojitých segmentů, což vede k vyšší efektivitě doručení dávky

	Tesla P100	L4
CUDA Cores	3,584	7,424
Memory Size	16 GB	24 GB
TDP (Power Consumption)	250W	72W
FP32 Performance	9.526 TFLOPS	30.29 TFLOPS

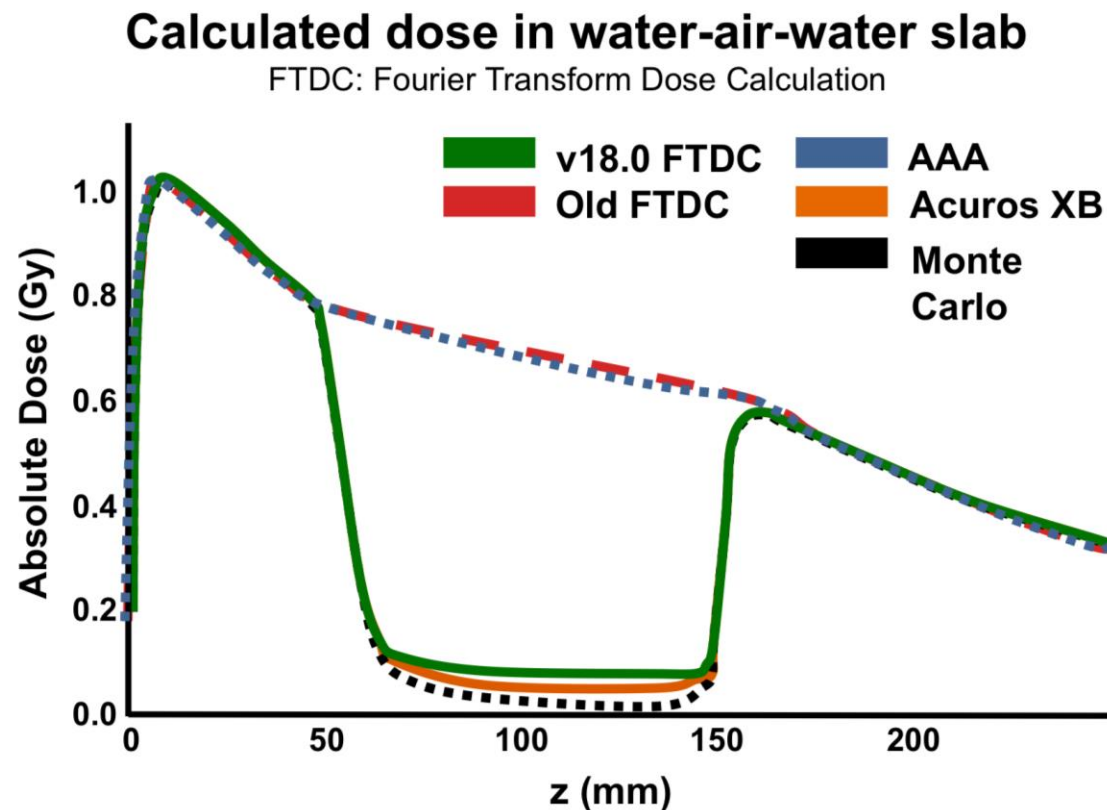
Image and data from nvidia.com



Courtesy of Xenia Ray, PhD, UCSD

Přpracovaný optimalizační algoritmus

Přesnější dávka v průběhu optimalizace



Data on-file, Varian Medical Systems, Inc. January 2023. *Your results may vary.*

Received: 20 August 2024 | Revised: 18 November 2024 | Accepted: 20 December 2024

DOI: 10.1002/acm2.70002

JOURNAL OF APPLIED CLINICAL
MEDICAL PHYSICS

RESEARCH ARTICLE

Improving VMAT dose calculation accuracy and planning quality via a GPU-accelerated Fourier transform dose calculation algorithm

Kenny Guida | Chaoqiong Ma | Joy Patel | Krishna Reddy | H. Harold Li

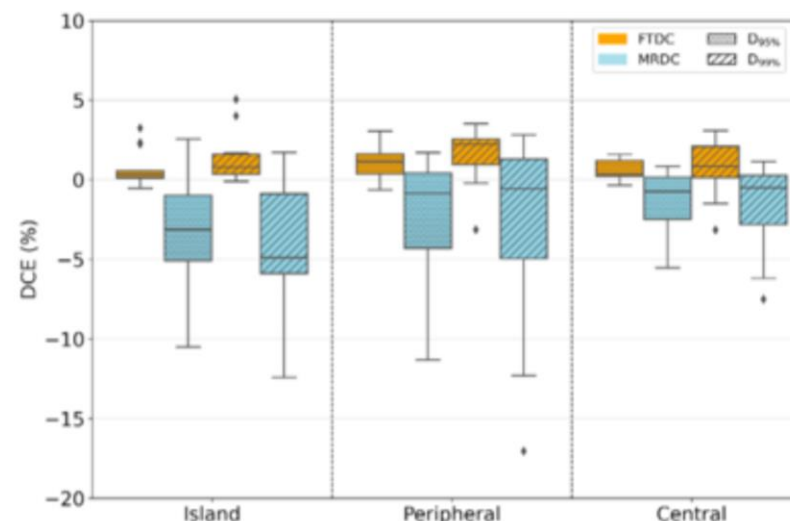


FIGURE 2 A box-and-whisker plot of PTV D95% and D99% DCEs by PTV location for plans utilizing FTDC and MRDC as the dose calculation algorithm during optimization. Clinical goals and constraints were attached to each plan to yield DVH metrics at the end of optimization and after final dose calculation. DCE, dose calculation error; DVH, dose volume histogram; FTDC, Fourier transform dose calculation; MRDC, multi-resolution dose calculation.

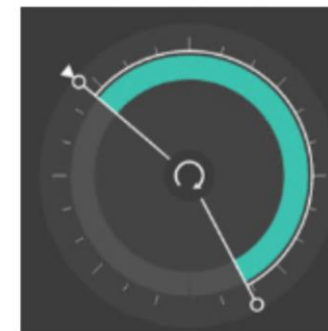
Přepřacovaný optimalizační algoritmus

Jedna optimalizace, flexibilní volba

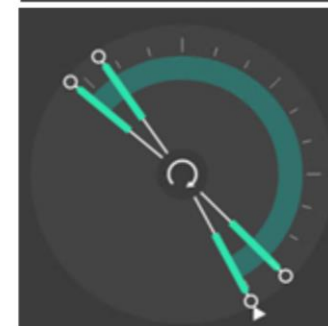
RapidArc Dynamic field má 3 části:

- **Segmenty kyvu**, ve kterých gantry rotuje během záření a přitom může rotovat kolimátor
- Static Angle Modulated Ports (**STAMPs**), během nichž se září a hýbe se MLC ale gantry je statické
 - Minimálně 1 STAMP na plán je povinný (max 10 na pole)
- Volitelně **Avoidance sektory**, během kterých se nezáří a gantry rotuje
- Ve všech těchto částech optimalizační algoritmus generuje machine control points

ARCs



STAMPs



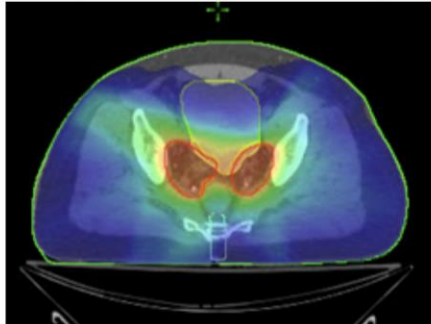
AVOIDANCE SECTORS



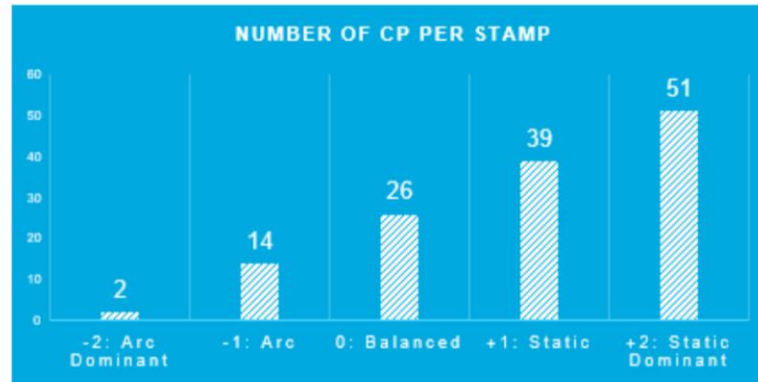
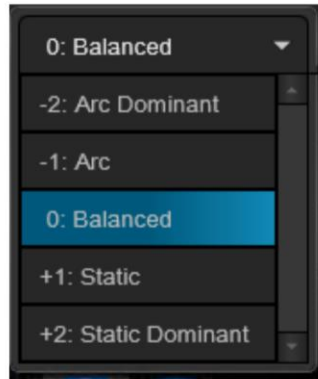
Přpracovaný optimalizační algoritmus

Jedna optimalizace, flexibilní možnosti

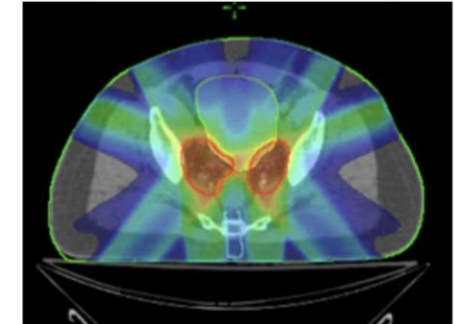
Classic VMAT



576 MU

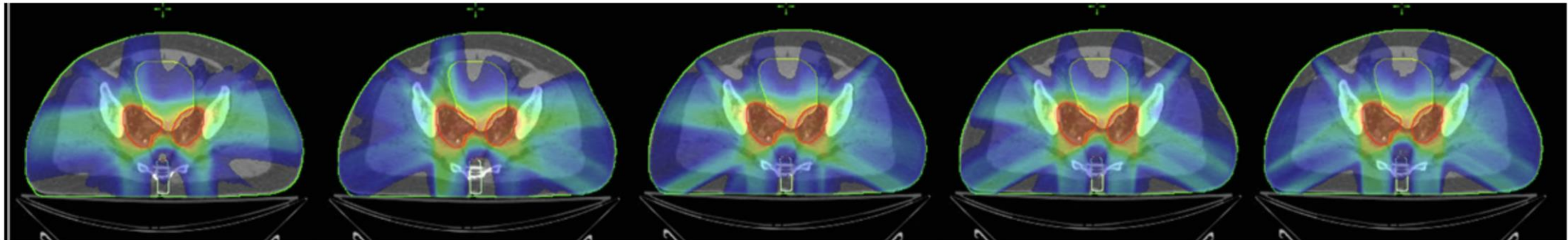


Classic IMRT



1098 MU

RapidArc Dynamic*



-2 Arc Dominant

790 MU

-1 Arc

793 MU

0 Balanced

821 MU

+1 Static

902 MU

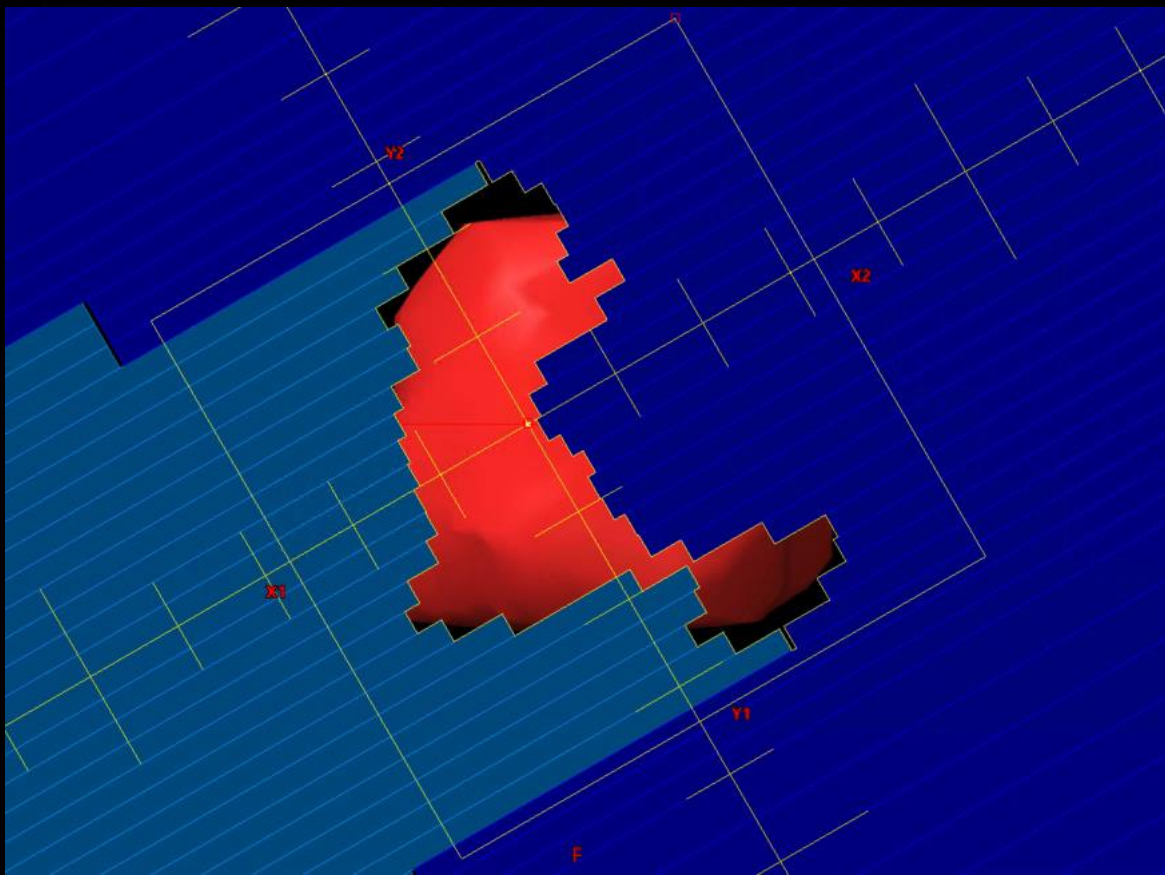
+2 Static Dominant

909 MU

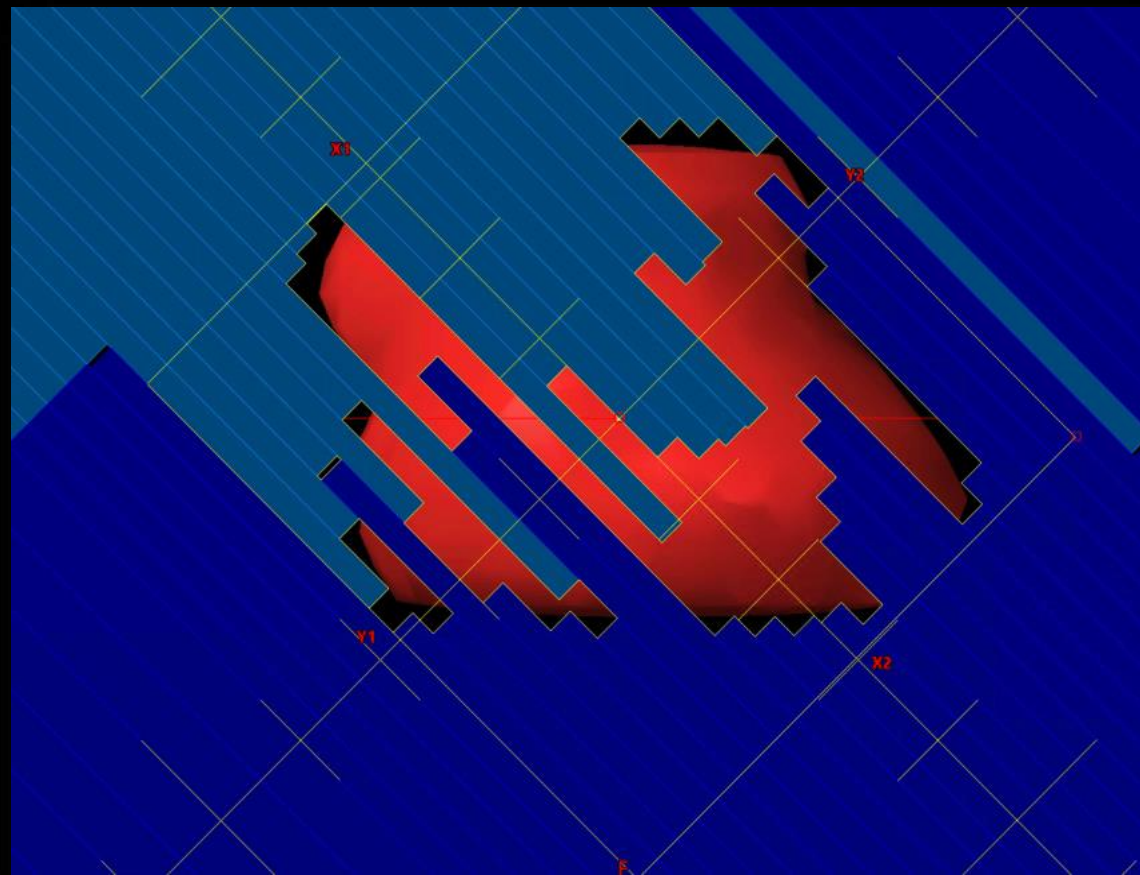
Porovnání „segmentace MLC“

BEV Animation

RapidArc Dynamic



RapidArc



Přepracovaný optimalizační algoritmus

Další stupeň volnosti – „Dynamic Collimator Optimization“

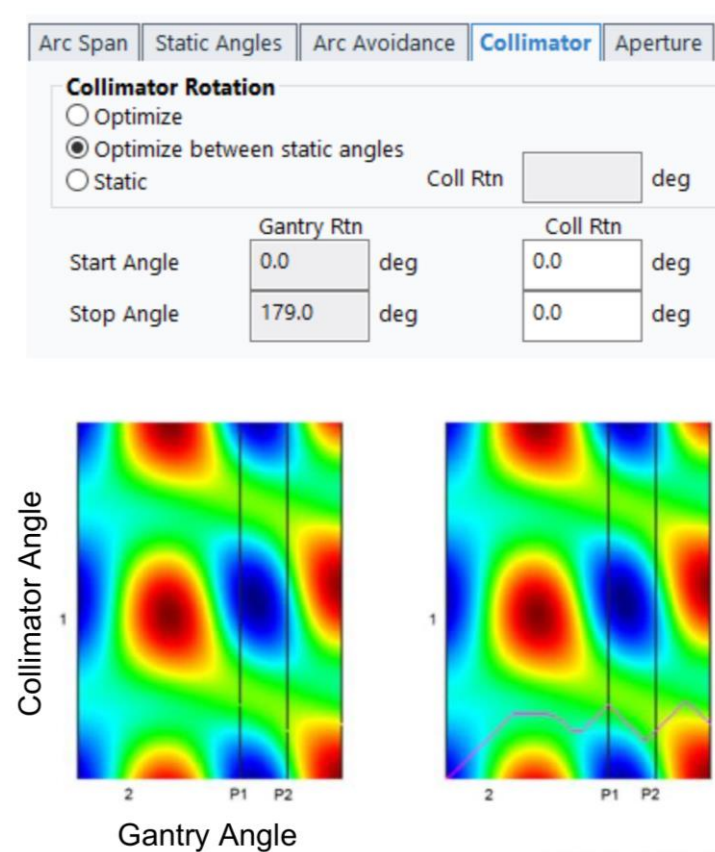
Před optimalizace: Optimalizace rotace kolimátoru před iterováním dávky

Cost map:

- 2D matice: gantry (osa x) vs kolimátor (osa y)
- Cost funkce = minimalizace šířky cílového objemu (maximalizace modulace)

Optimální trajektorie:

- Nejkratší cesta cost mapou
- Kolimátor je kotven pomocí zakázaných buněk ve statických úhlech
- Lokálně může rotace gantry zpomalit během záření



Přepracovaný optimalizační algoritmus

Automatic Skin Flash

Příprava:

- Vytvoření virtuálního bolusu roztažením cílové struktury (v 6 rozměrech)
- Nastavení optimalizačních podmínek

Vytvoření virtuálního bolusu:

- Dilatace kůže o pevnou hodnotu
- Odečtení kontury těla vytvoří virtuální bolus

Škálování hustoty bolusu v závislosti na úhlu:

- Upřednostní úhly, které ozařují OAR s menší pravděpodobností

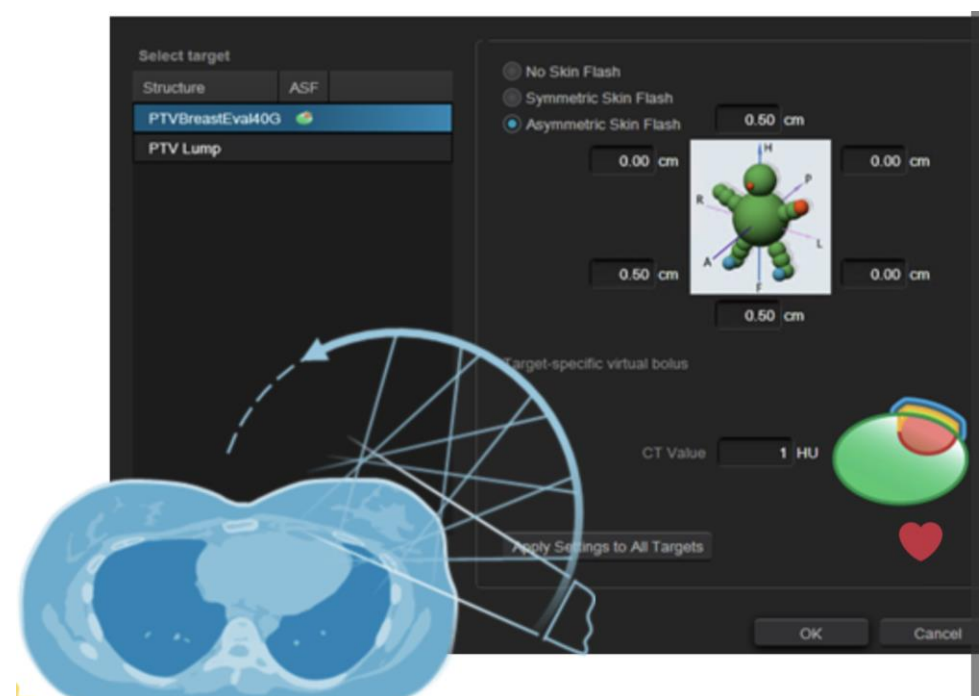
Uživatelské nástroje a výjimky:

- Ovládání velikosti dilatace kůže a elektronové/hmotnostní hustoty bolusu

ASF Creation



The final virtual bolus is extended 3mm outside of the flash target creation



Přpracovaný optimalizační algoritmus

Automatic Skin Flash

Received: 17 October 2024 | Revised: 22 December 2024 | Accepted: 26 December 2024

DOI: 10.1002/acm2.70036

JOURNAL OF APPLIED CLINICAL
MEDICAL PHYSICS

RESEARCH ARTICLE

Automatic skin flash optimization in breast and chestwall VMAT with static angle modulated ports: Effect of HU and flash margin size on plan quality and robustness

Emily Hubley¹ | Brandon Koger¹ | Taoran Li^{1,2} | Michael Salerno¹ |
Ryan M. Scheuermann¹ | Lei Dong¹ | Boon-Keng Kevin Teo¹

Plan Uncertainty Parameters

Generate Photon Uncertainty Parameters

Isocenter shift: [cm]
Calibration curve error: [%]

Generate

Uncertainty Type

☒ Patient Setup

☐ Target Shift

Patient Setup Error: Estimates how a change in patient setup may affect the dose distribution.

Target Shift: Estimates the effect on the dose distribution if the target moves in relation to other structures.

Plan Uncertainty Parameters

Isocenter shift coordinates are expressed in the planning coordinate system selected in RT Administration.

ID	Patient Setup Error			Curve Error [%]	Calculation Status	Remove
	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]			
U1	+0.50	0.00	0.00	0.00	Not calculated	Remove
U2	-0.50	0.00	0.00	0.00	Not calculated	Remove
U3	0.00	+0.50	0.00	0.00	Not calculated	Remove
U4	0.00	-0.50	0.00	0.00	Not calculated	Remove
U5	0.00	0.00	+0.50	0.00	Not calculated	Remove
U6	0.00	0.00	-0.50	0.00	Not calculated	Remove

Plan Robustness vs Thickness of ASF

Thickness of ASF (mm)	0 HU Δ CTV D99% (%)	0 HU Δ CTV D95% (%)	-350 HU Δ CTV D99% (%)	-350 HU Δ CTV D95% (%)
RA(0mm)	-9.5	-5.5	-5.5	-5.5
RAD(0mm)	-10.0	-5.0	-5.0	-5.0
5	-7.0	-3.5	-3.5	-3.5
10	0.5	0.0	0.0	0.0
15	0.2	0.0	0.0	0.0
20	0.5	0.0	0.0	0.0

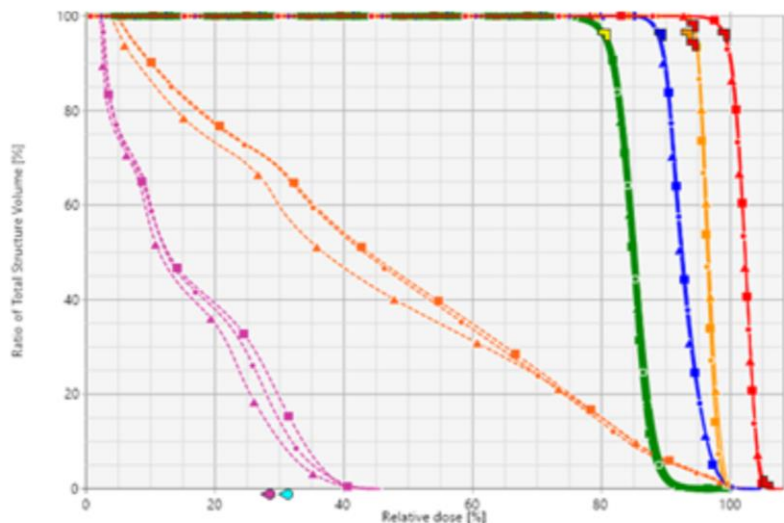
© 2025 VARIAN MEDICAL SYSTEMS, INC. For immediate recipient's use only.

All you need is ...
AMEDIS

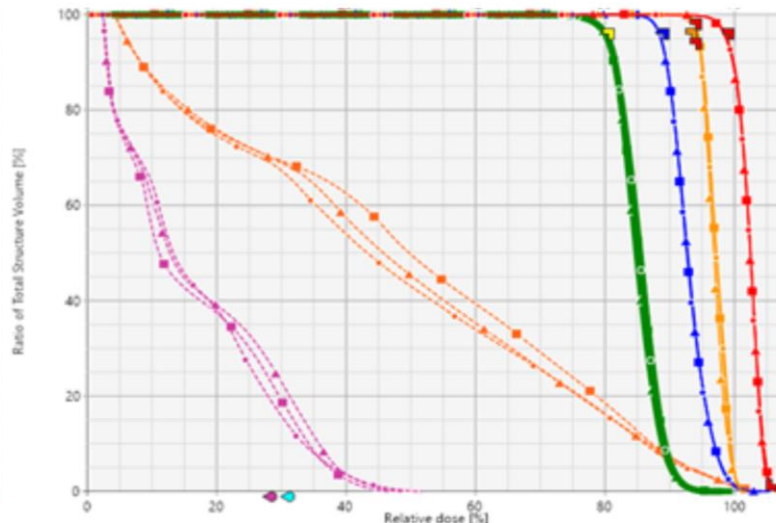
varian
A Siemens Healthineers Company

Přpracovaný optimalizační algoritmus

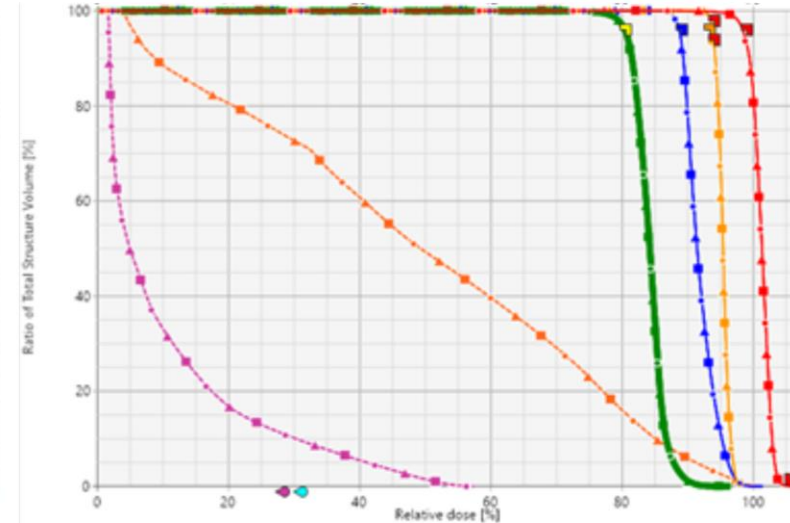
Deterministické chování



v15.6 VMAT



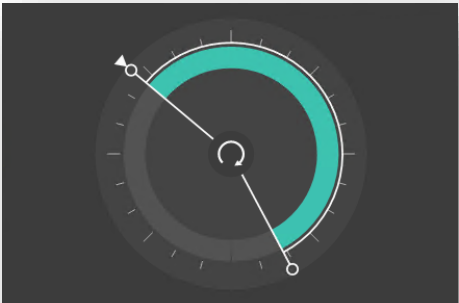
V17 VMAT



V18.1 RapidArc Dynamic

- algoritmus vždy konverguje ke stejným výsledkům
- lineárnější odezva na vstupu
- umožňuje spolehlivý přenos znalostí mezi plánujícím personálem

Více možností v plánování



Arc SpanStatic AnglesArc AvoidanceCollimatorAperture

Start Angle310.0degReverse Arc Direction

Stop Angle152.0deg

Arc span202.0°

Arc DirectionCWRReset

Values in IEC61217 scaleClose

Real-time vizualizace v BEV



Arc SpanStatic AnglesArc AvoidanceCollimatorAperture

	Gantry Rtn [deg]	Coll Rtn [deg]	
I	310.0	10.0	X
II	325.0	10.0	X
III	135.0	350.0	X
IV	152.0	350.0	X
+			

Values in IEC61217 scaleClose

Částečné kyvy a „STAMPY“

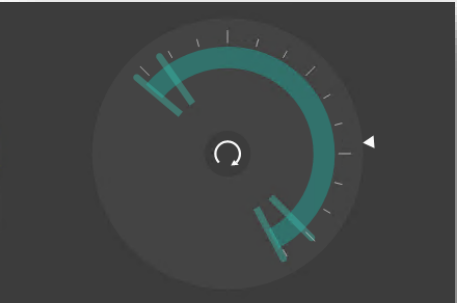


Arc SpanStatic AnglesArc AvoidanceCollimatorAperture

	Start [deg]	End [deg]	Span [deg]	
I	15.0	85.0	70.0°	X
+				

Values in IEC61217 scaleClose

Avoidance sectors



Arc SpanStatic AnglesArc AvoidanceCollimatorAperture

Collimator Rotation

☒ Optimize

☐ Optimize between static angles

☐ Static

Coll Rtndeg

Start Angle310.0deg

Stop Angle152.0deg

Gantry Rtn310.0deg

Gantry Rtn152.0deg

Coll Rtn10.0deg

Coll Rtn350.0deg

Values in IEC61217 scaleClose

Optimalizace kolimátoru



Arc SpanStatic AnglesArc AvoidanceCollimatorAperture

	Value [cm]	Total [cm]
X1	-7.5	13.5
X2	6.0	
Y1	-6.0	17.0
Y2	11.0	

Values in IEC61217 scaleClose

Limity pro kolimátor, nikoliv fixed jaws.

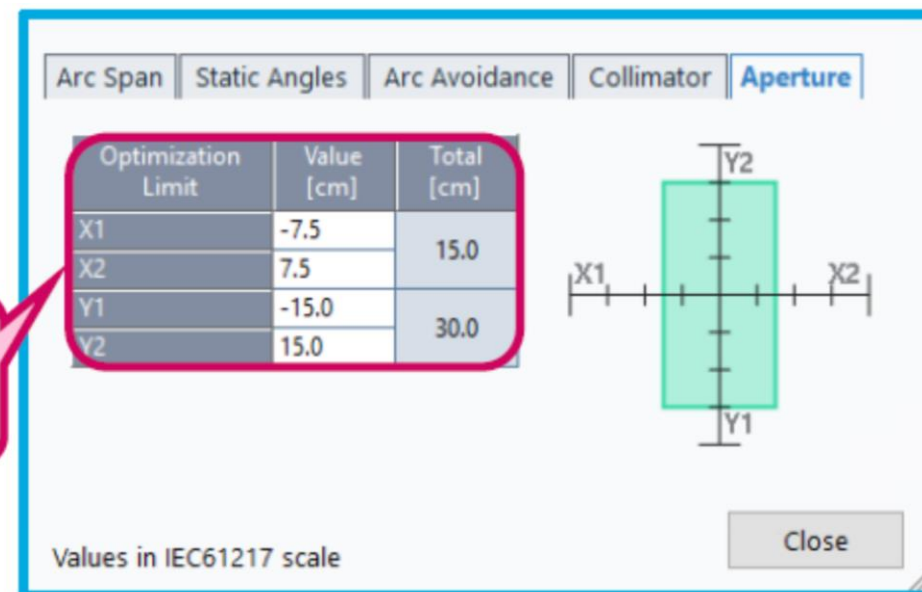
Klíčové vstupy uživatele

Nastavená a snadno přenosná šablona

- výběr STAMP pomocí *Arc Tools*
- mód optimalizace kolimátoru
- optimalizace clon
 - definování, co optimalizátor „vidí“ v poli
 - funkce *Jaw tracking* je vždy zapnutá
- Auto Skin Flash
- nastavení vyvážení statického a Arc pole



Maximum
Optimization
Field Aperture



Sacky, Tom (AFR-Prostate) - External Beam Planning

QuickLinks Sacky, Tom (AFR-Prostate) Worklist Anri Friman

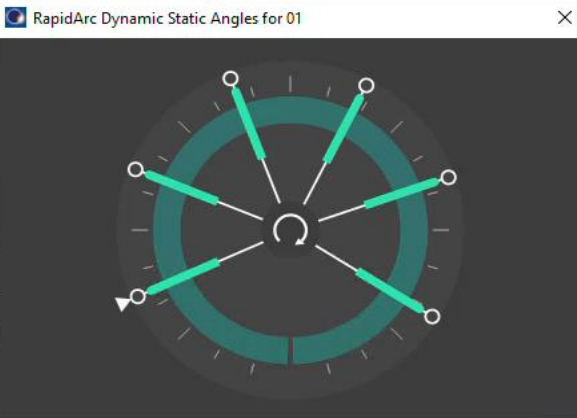
File Edit View Insert Planning Tools Window

Selection Contouring Image Registration External Beam Planning Brachytherapy Planning Brachytherapy 2D Entry Plan Evaluation

AFR-Prostate
AFR
Plan1
ESTRO
RA2
RA2-pace
RA2-pace-v
VMAT
VMAT-pace

RA2-pace-v
Registered In
AFR
User Orig
Reference Po
Prostate_P
Dose
Fields
Isocenter
01
MLC

RapidArc Dynamic Static Angles for 01



Arc Span	Static Angles	Arc Avoidance	Collimator	Aperture
I	246.0	348.0	X	
II	292.0	359.0	X	
III	339.0	358.0	X	
IV	27.0	348.0	X	
V	71.0	350.0	X	
VI	122.0	357.0	X	
+				

Values in IEC61217 scale

Close

RA2-pace-v - Unapproved - Transversal - AFR

3D DVH BEV Arc RA2-pace-v - Unapproved - BEV - SAD 100 cm - 01 - 34/188 - 246.00 [deg] - AFR

RA2-pace-v - Unapproved - Sagittal - AFR

Ready

User: Anri Friman Group: AdminAllRights Site: Main Site CAP NUM SCRL

4:27 PM 6/11/2024

CE Marked. 510(k) cleared. The products/features mentioned here are not commercially available in all countries. Their future availability cannot be guaranteed.

Verifikační plány

Separátní verifikační plány pro statické části a kyvy

Verification Plan - Select Field Parameters



Split Fields

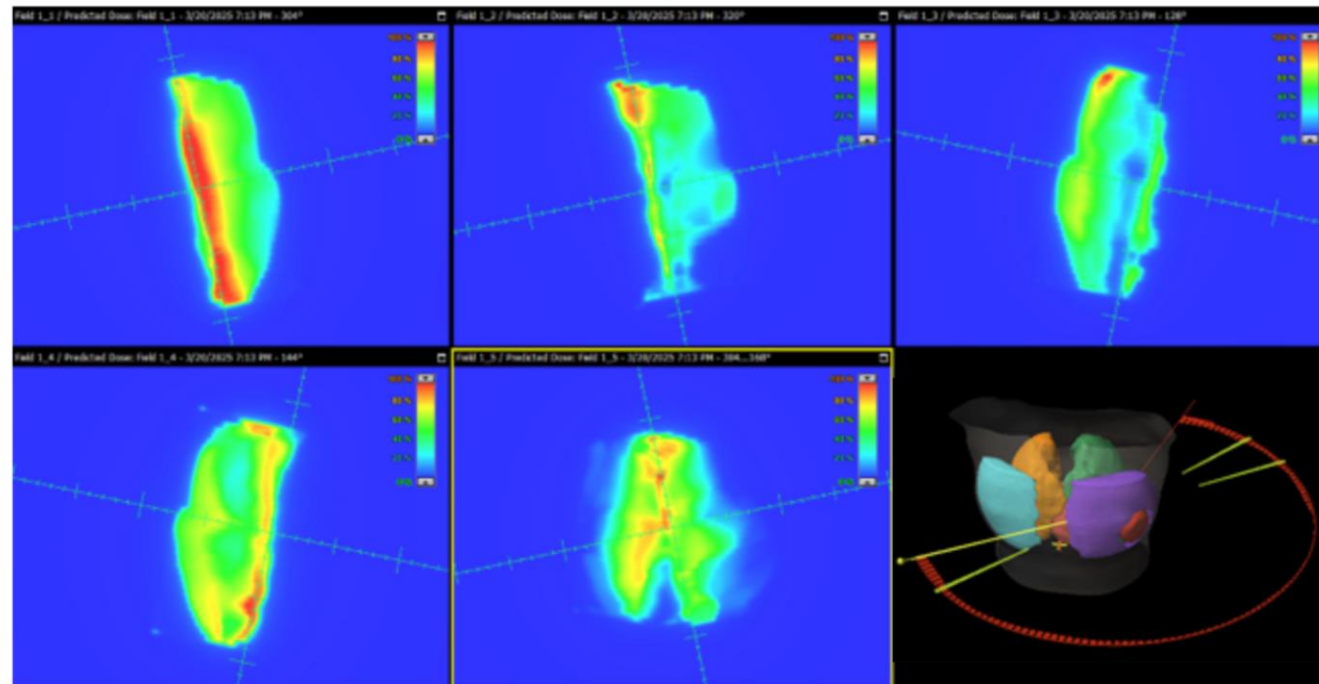
- ☐ Split IMRT subfields into separate fields
- ☐ Split each arc field to
- ☒ Split static angles to separate fields
- ☐ Split Siemens mARC fields into static fields

1 arc field split into 5 smaller arcs.
Field 1: 1 arc (224.0 degrees), 4 Static angles

Plan Generation

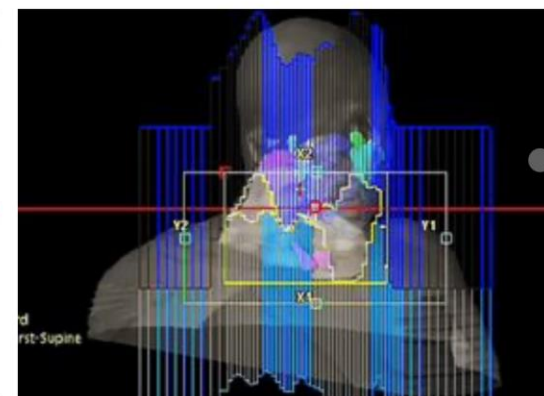
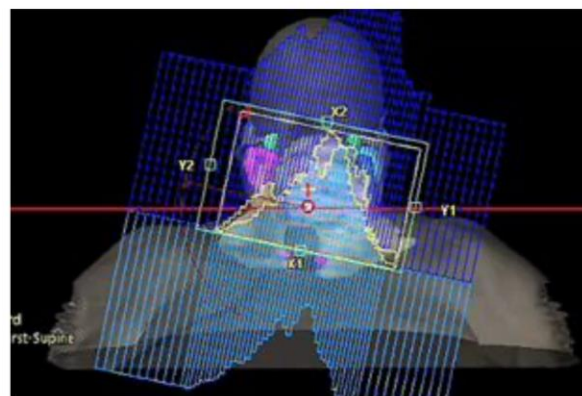
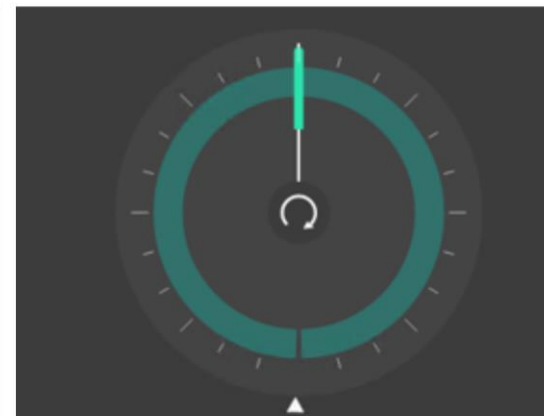
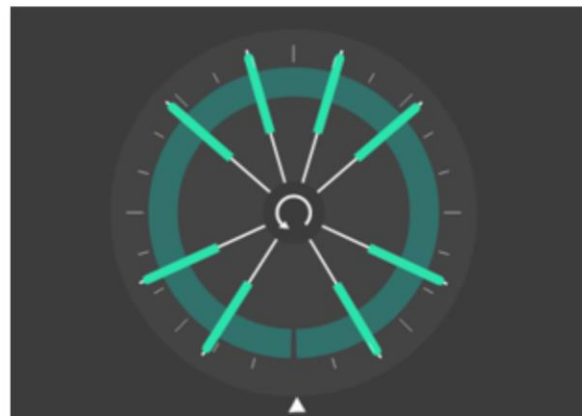
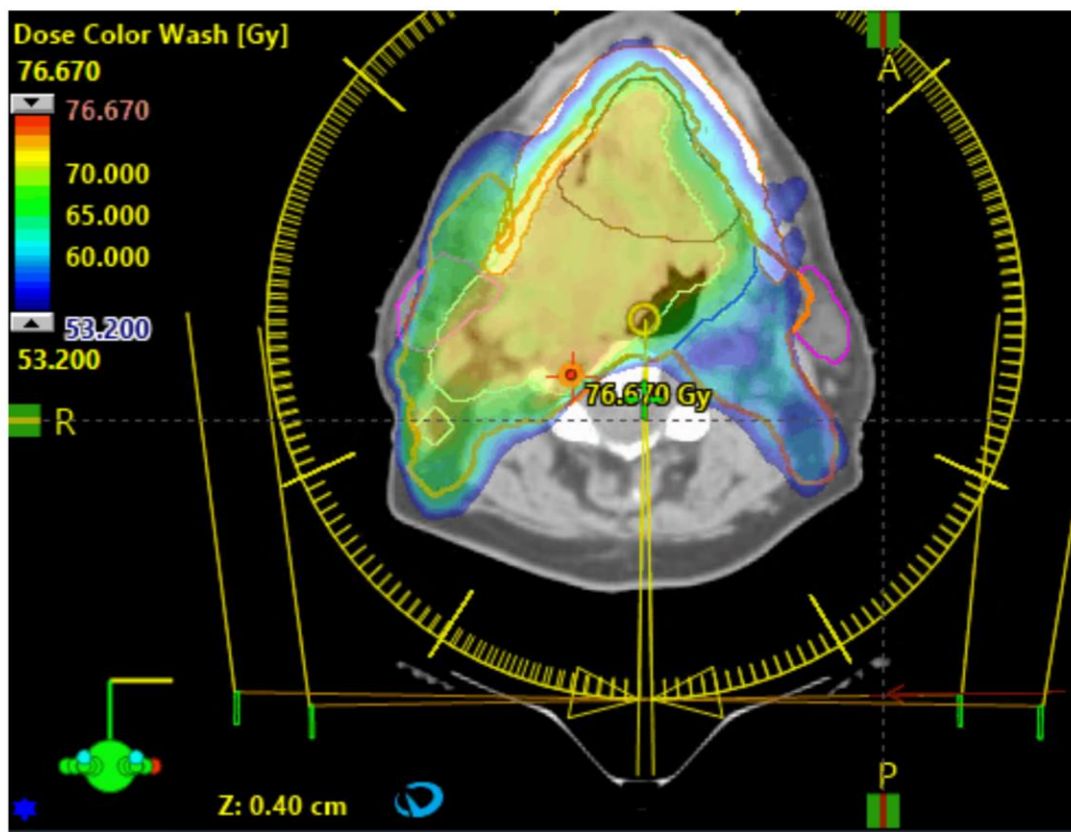
- ☒ Place all fields into the same verification plan
- ☐ Place each field into a separate verification plan

Number of Fractions



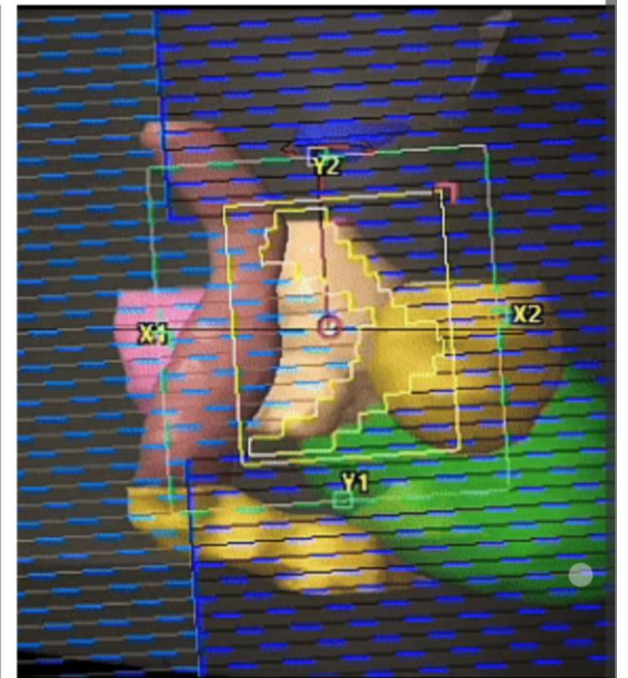
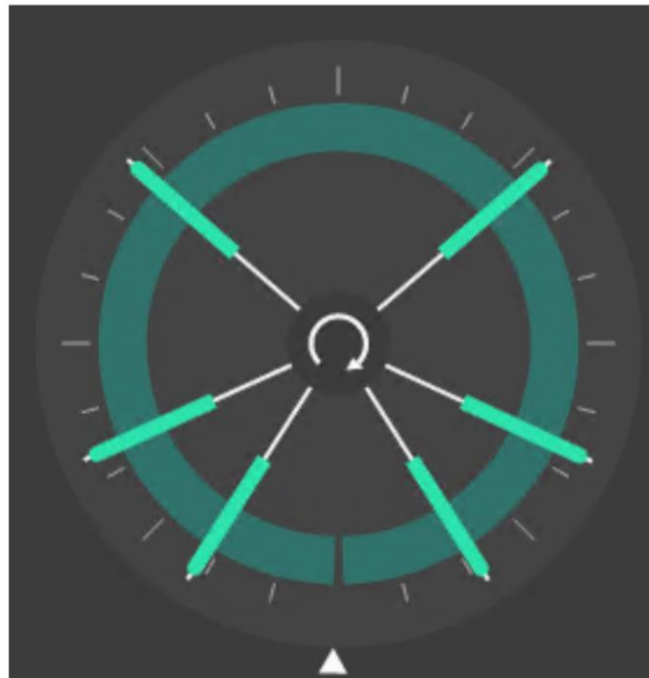
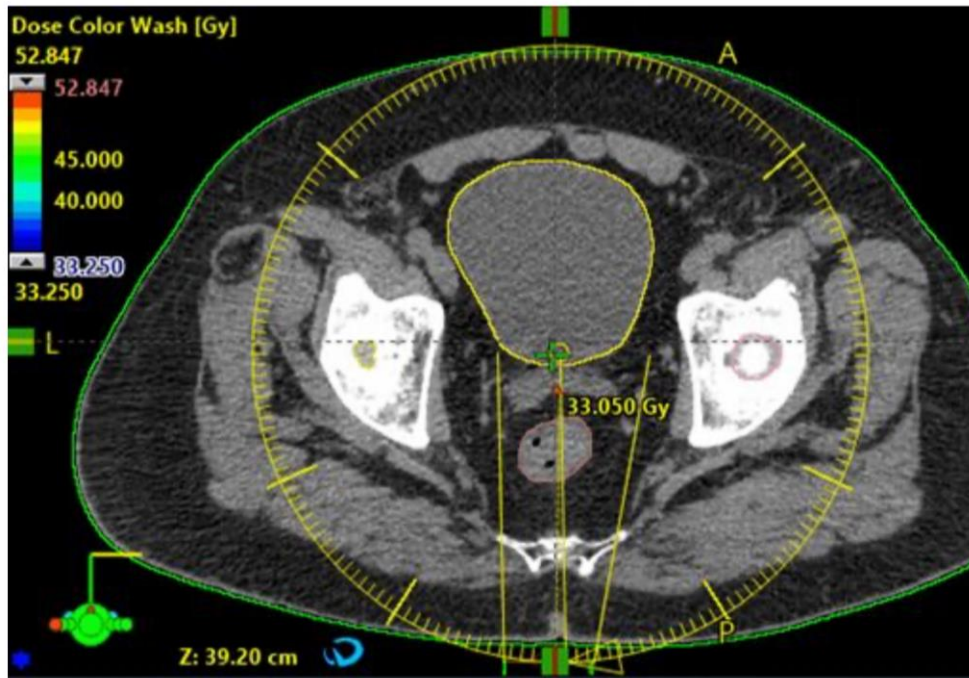
Příklady klinického plánu

Hlava a krk



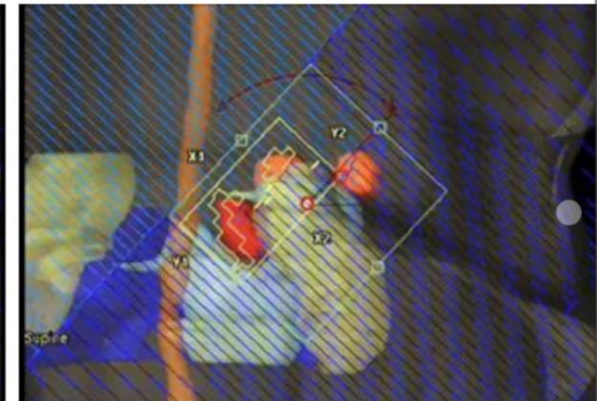
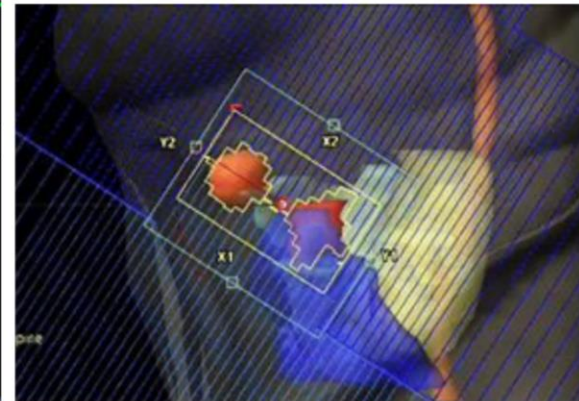
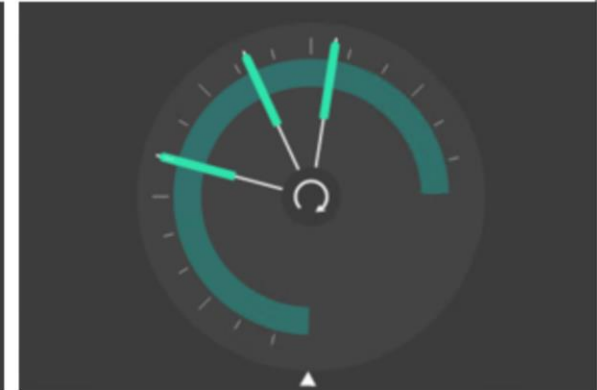
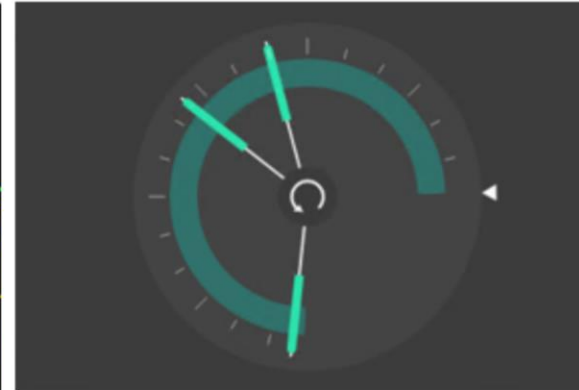
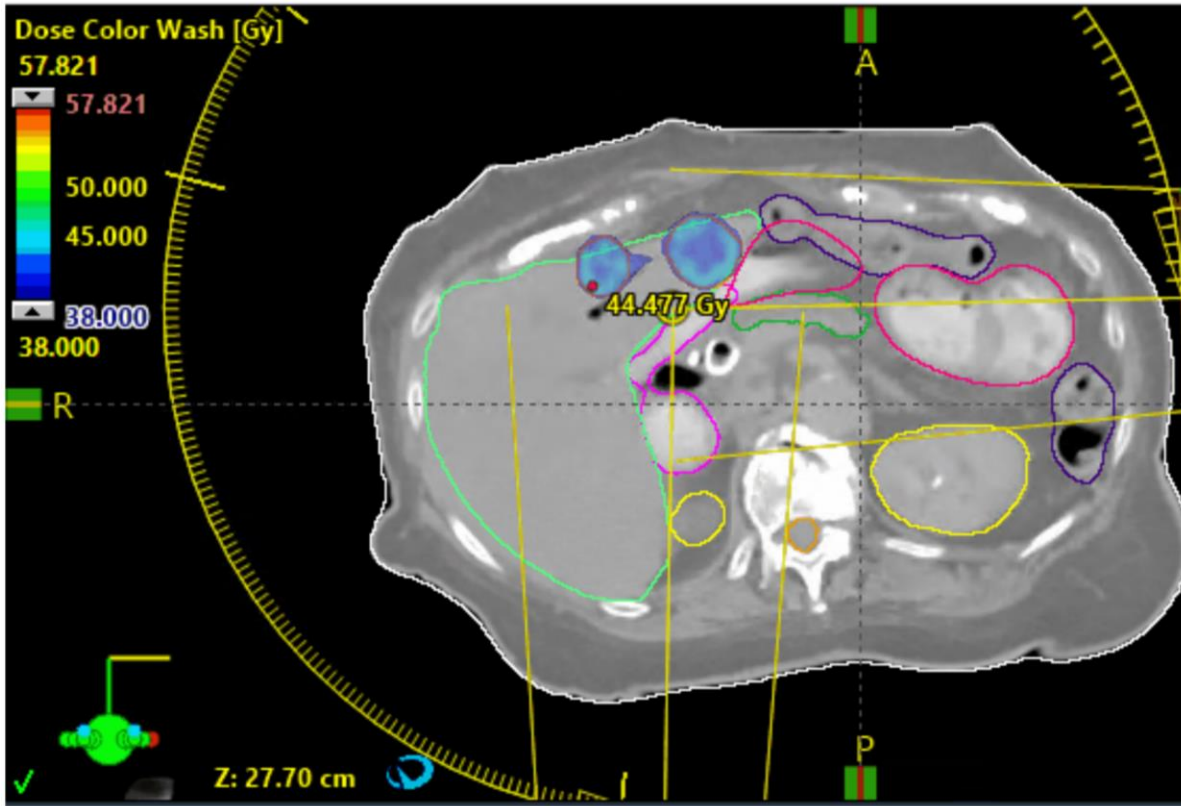
Příklady klinického plánu

SBRT Prostata (50/35 Gy v 5 frakcích)



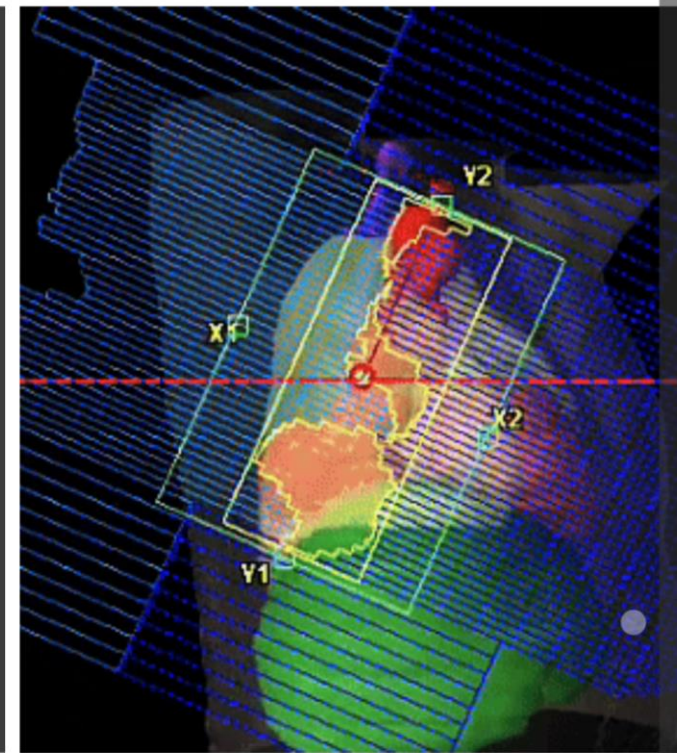
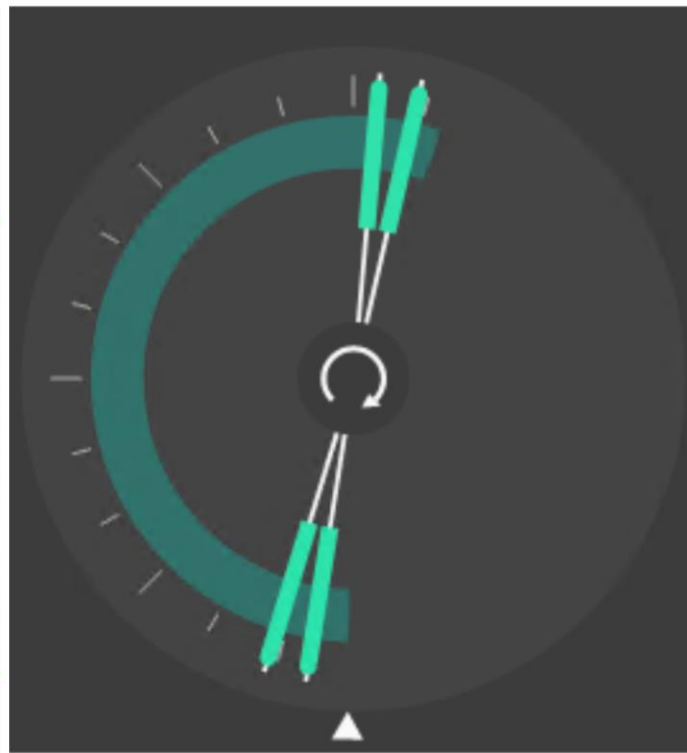
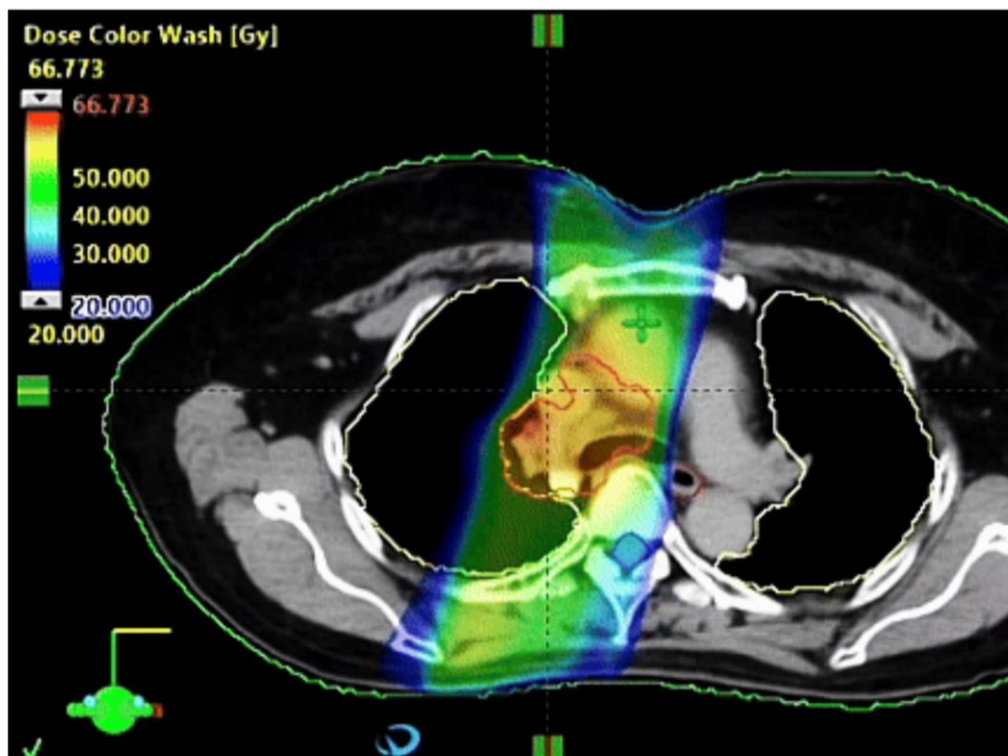
Příklady klinického plánu

Játra/Slinivka SIB 50/40 Gy



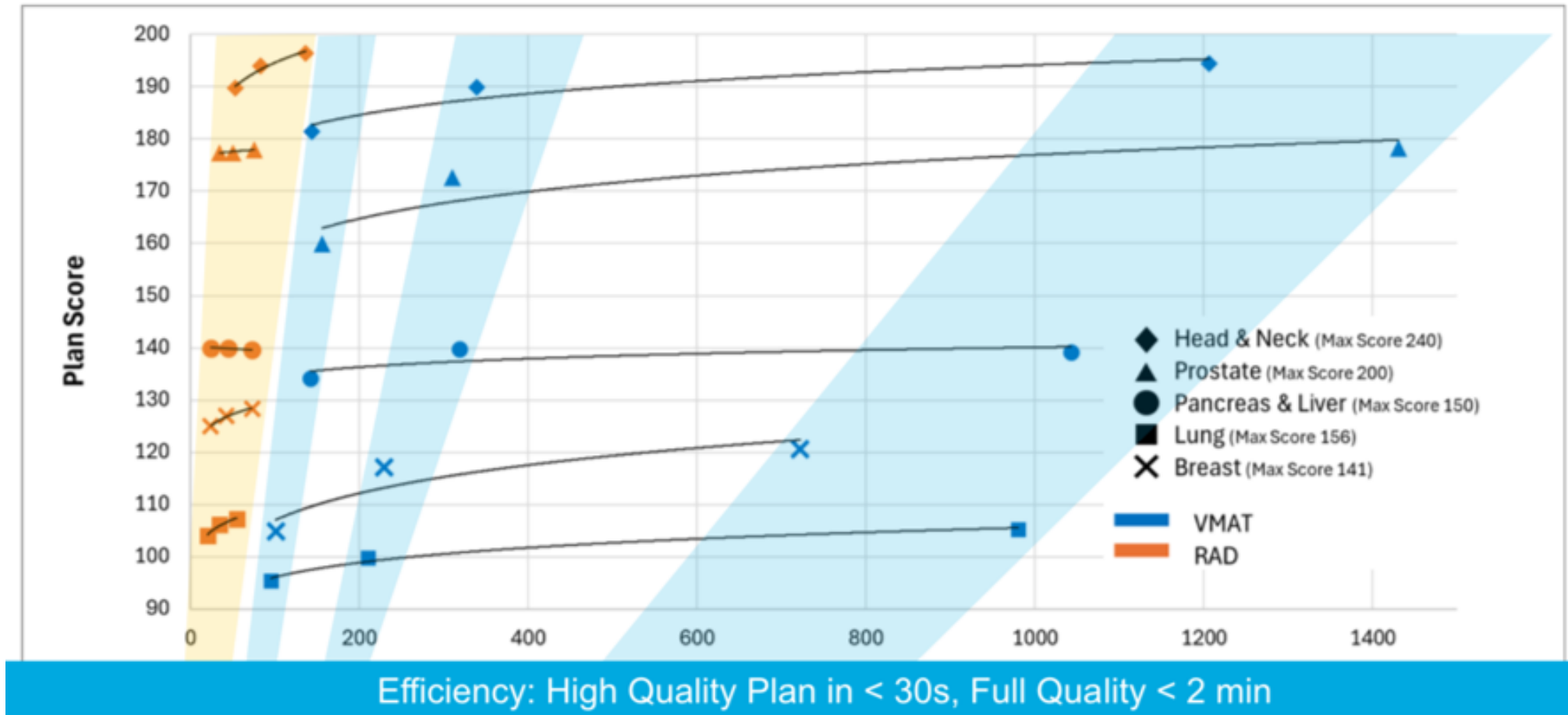
Příklady klinického plánu

Plíce 60 Gy/30 fx



Efektivita a kvalita plánu

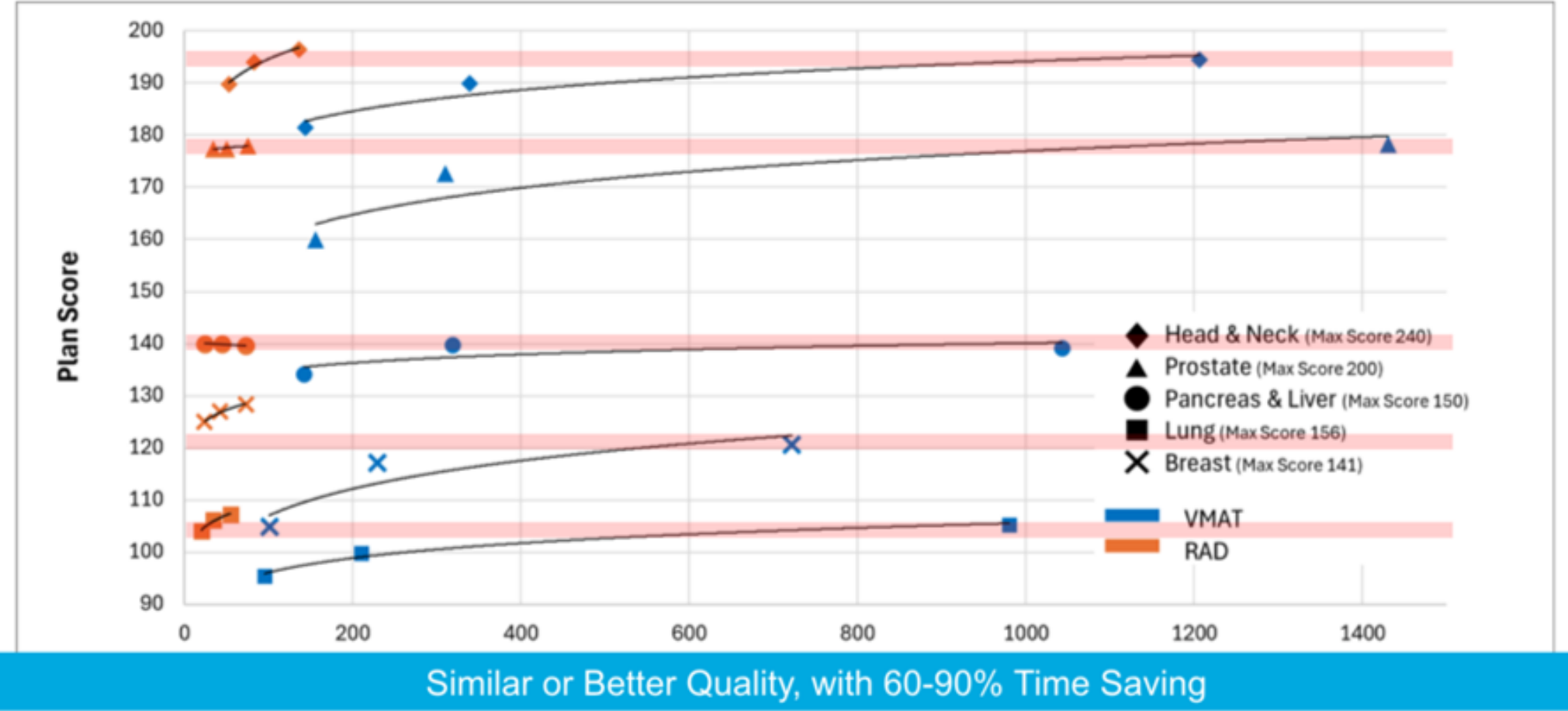
Čas



*based on medical affairs internal testing.

Efektivita a kvalita plánu

Kvalita



*based on medical affairs internal testing.

Efektivita léčby

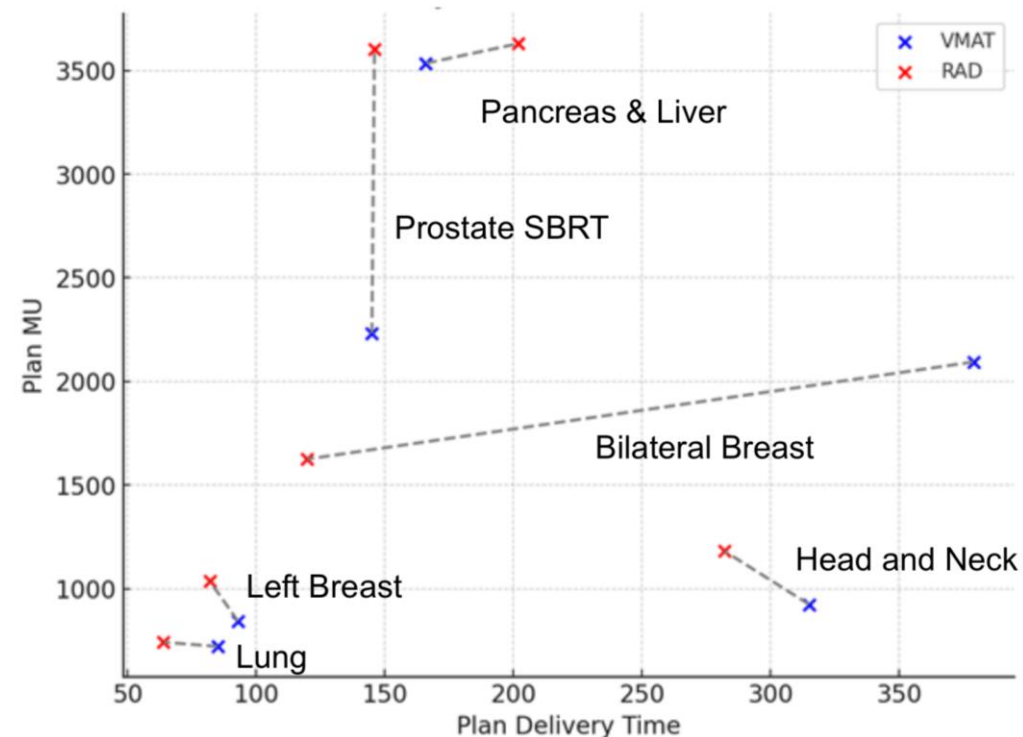
Celkové MU a ozařovací čas

MU Celkem:

- RapidArc Dynamic typicky vystačí s méně MU ve srovnání s dozimetricky ekvivalentním VMAT

Ozařovací čas:

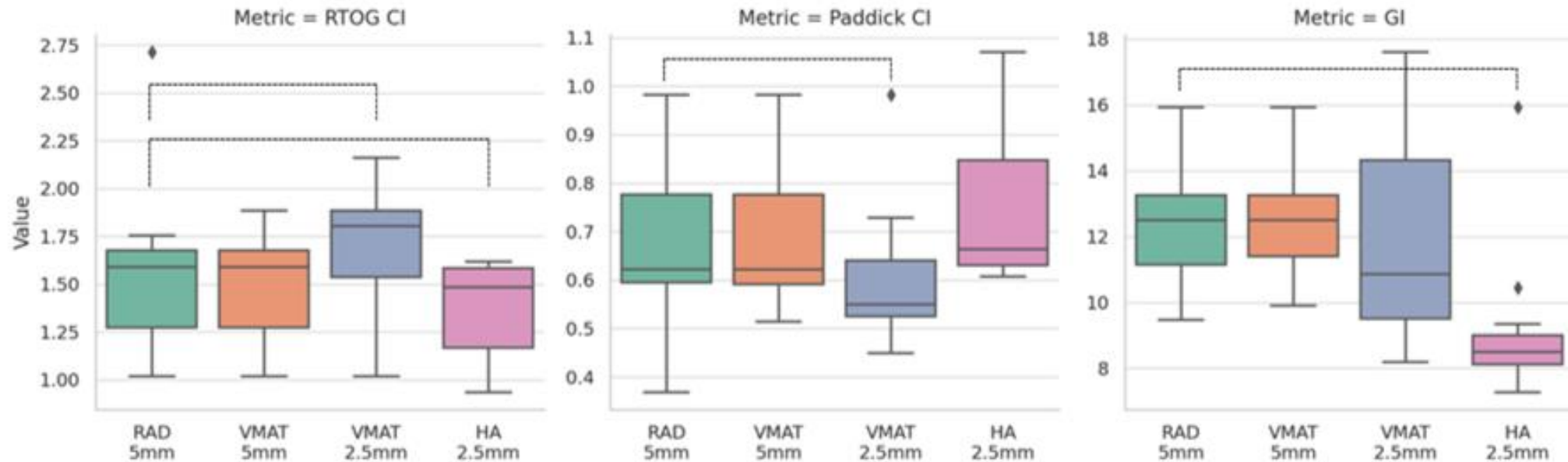
- Pro vícečetná ložiska v játrech a slinivce (SBRT) RapidArc Dynamic je o ~ 20% pomalejší
- Pro oboustranný prs je RapidArc Dynamic o 60% rychlejší



*based on medical affairs internal testing.

RapidArc Dynamic – malé vícečetné léze - výzkum

Dynamický kolimátor efektivně zvyšuje „rozlišení MLC“



		RAD 5mm	VMAT 5mm	VMAT 2.5mm	HA 2.5mm
Brain – GTV	V12Gy (cc)	12.86	18.29	14.12	8.10
Brain – GTV	D _{mean} (Gy)	14.0	14.6	13.0	11.2
Total MU		12077	9834	10162	11901

^Based on Varian Medical Affairs internal testing.

Klinické postřehy pro plánování

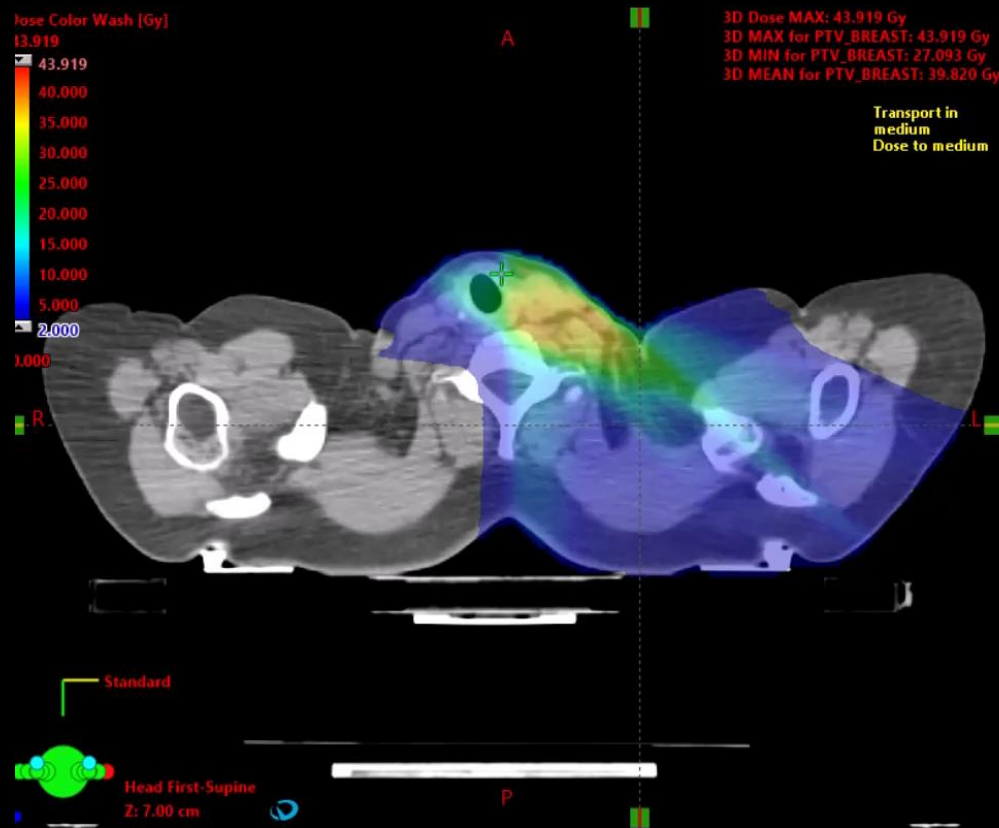
Klíčové body

- Rychlejší optimalizace: průměrně 1:23 min vs. 2:13 min for VMAT (convergence mode off)
- **Dynamic Collimator:** Pomáhá redukovat počet kyvů nutných pro objemy s velkými longitudinálními rozměry
- **STAMPs:** Pro prs, prostatu a hlavu a krk lze používat třídy řešení
- Menší závislost na zkušenosti plánujícího personálu
 - Deterministická optimalizace znamená vyšší reprodukovatelnost
 - Umožňuje agresivnější optimalizační parametry
- **Templates and RapidPlan Models:** fungují jako výborné východisko pro počáteční optimalizační parametry

RapidArc Dynamic

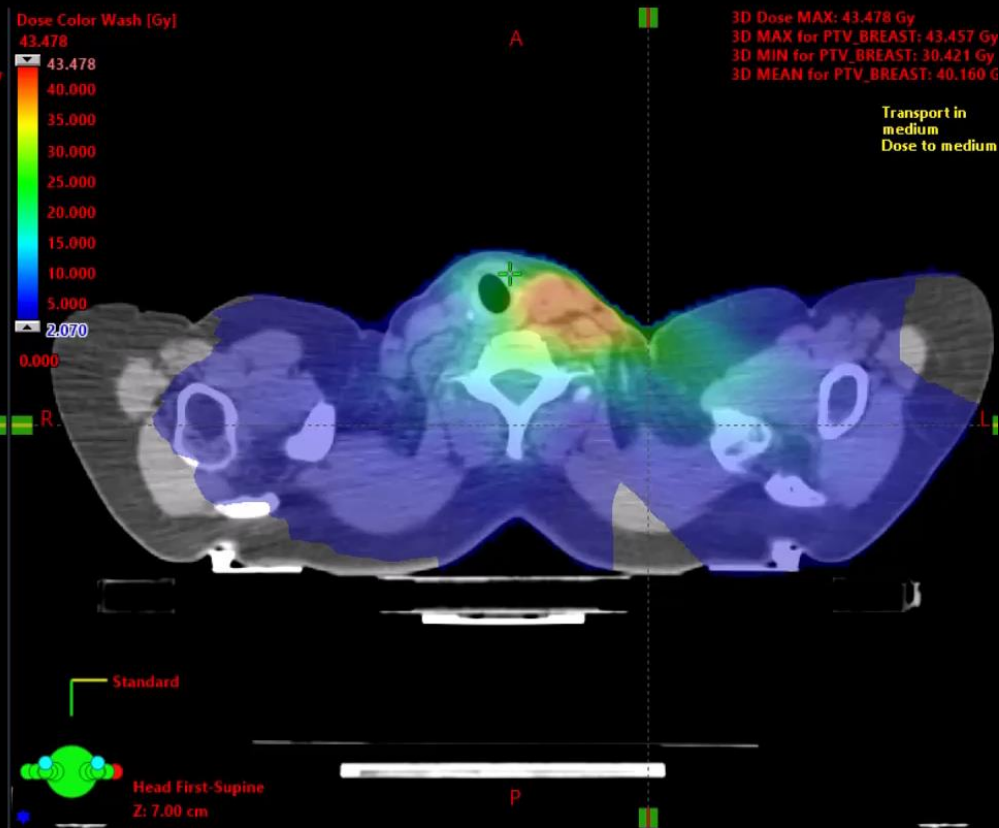
Plan comparisons – Advanced Breast

RapidArc Dynamic



1 arc (5 modulated ports)

RapidArc



2 arcs

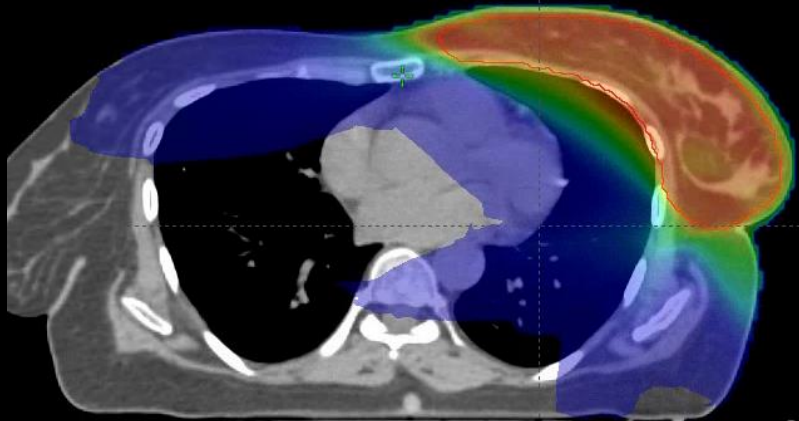
RapidArc Dynamic

Plan comparisons – Advanced Breast

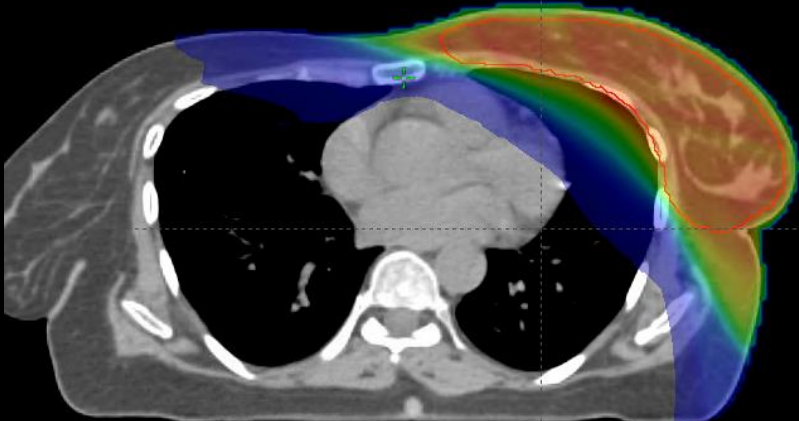
Clinical Goals:
Contralateral Breast / Heart / Ipsilateral Lung

Clinical goals: All Plans			☐ Evaluate Goals for All Plans			
Plan			■ RAD			▲ VMAT
Total Dose			40.000 Gy			40.005 Gy
Clinical Goal Summary			0	0	15	2 1 12
● PTV_AXILL	P1	Dmean ≤ 101.0 %	99.83 %			100.13 %
	P1	Dmean ≥ 99.0 %	99.83 %			100.13 %
	P1	D 2.0 % ≤ 107.0 %	103.77 %			104.15 %
	P1	V 95.0 % ≥ 95.0 %	97.81 %			95.29 %
● PTV_BREAST	P1	Dmean ≤ 101.0 %	99.55 %			100.39 %
	P1	Dmean ≥ 99.0 %	99.55 %			100.39 %
	P1	D 2.0 % ≤ 107.0 %	104.38 %			104.20 %
	P1	V 95.0 % ≥ 95.0 %	95.50 %			96.71 %
● PTV_SC	P1	D 2.0 % ≤ 107.0 %	103.22 %			104.00 %
	P1	D 95.0 % ≥ 90.0 %	94.07 %			96.18 %
● BREAST_RIGHT	P2	Dmean ≤ 1.00 Gy	0.77 Gy			1.69 Gy
● HEART	P2	Dmean ≤ 3.00 Gy	2.17 Gy			3.25 Gy
● LUNG_LEFT	P2	V 5.00 Gy ≤ 60.0 %	35.51 %			51.26 %
	P2	V 20.00 Gy ≤ 25.0 %	9.26 %			11.54 %
	P2	Dmean ≤ 7.00 Gy	6.50 Gy			8.52 Gy

RapidArc

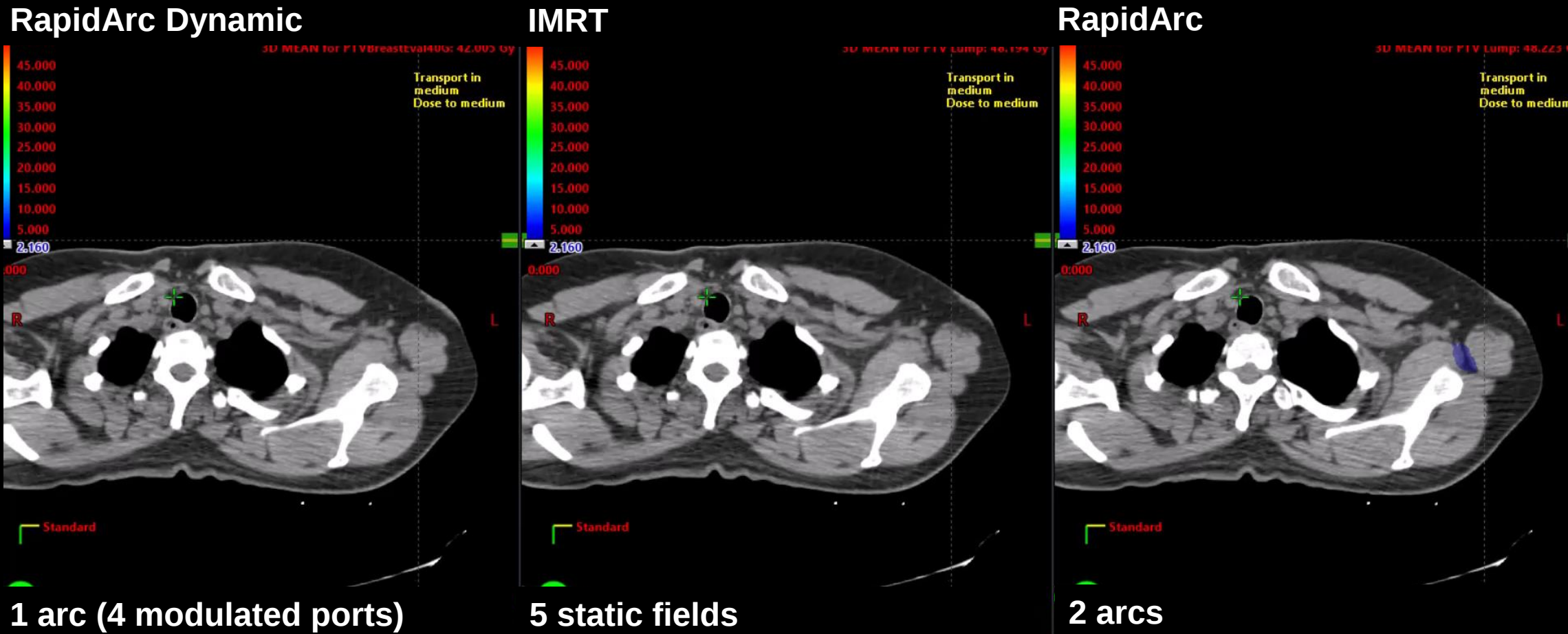


RapidArc Dynamic



RapidArc Dynamic

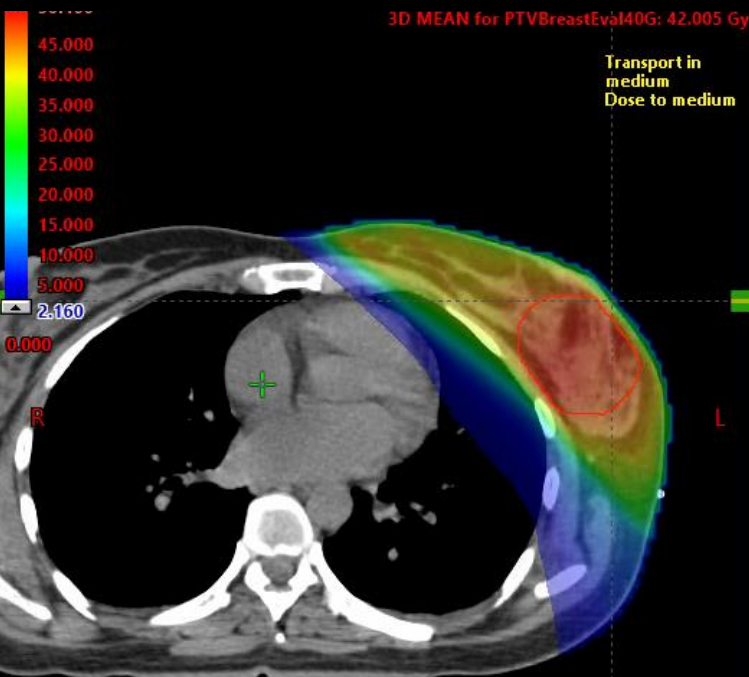
Plan comparisons – Breast SIB



RapidArc Dynamic

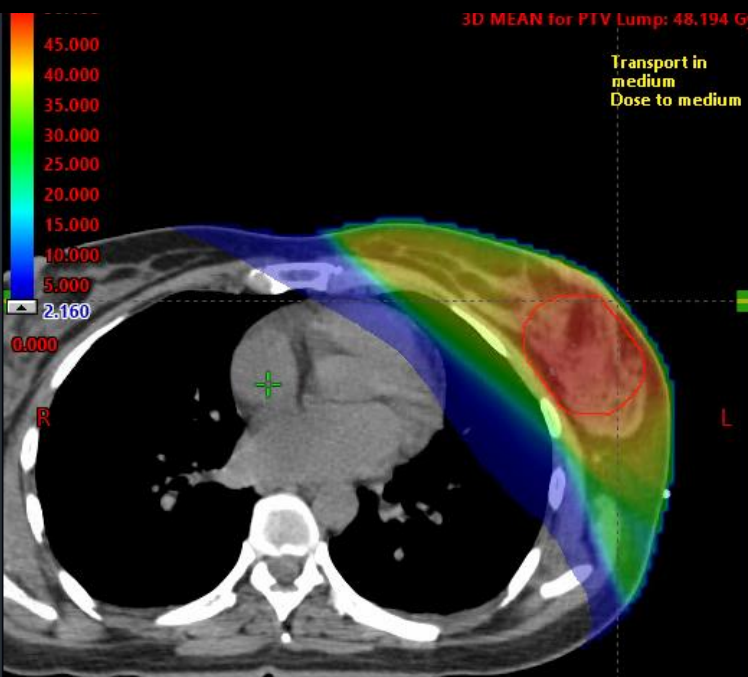
Plan comparisons – Breast SIB

RapidArc Dynamic



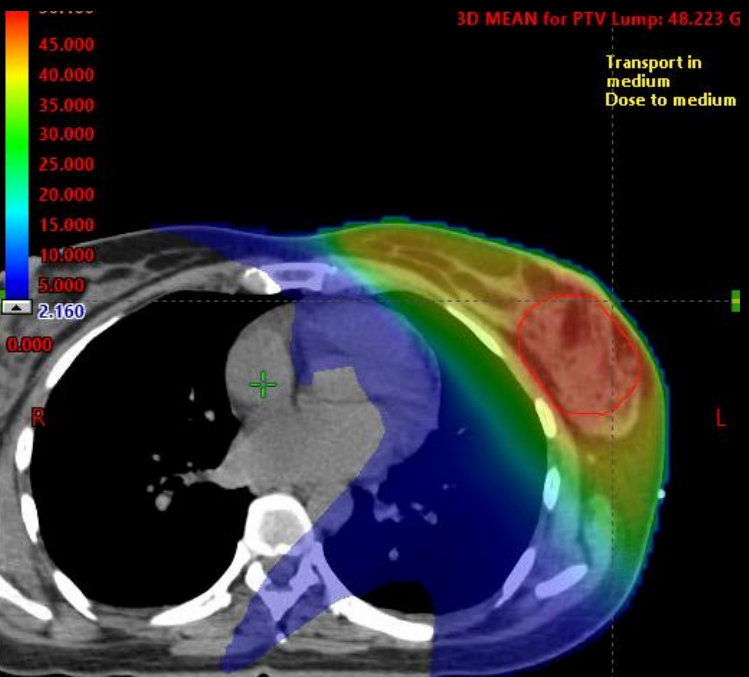
1 arc (4 modulated ports)

IMRT



5 flds

RapidArc



2 arcs

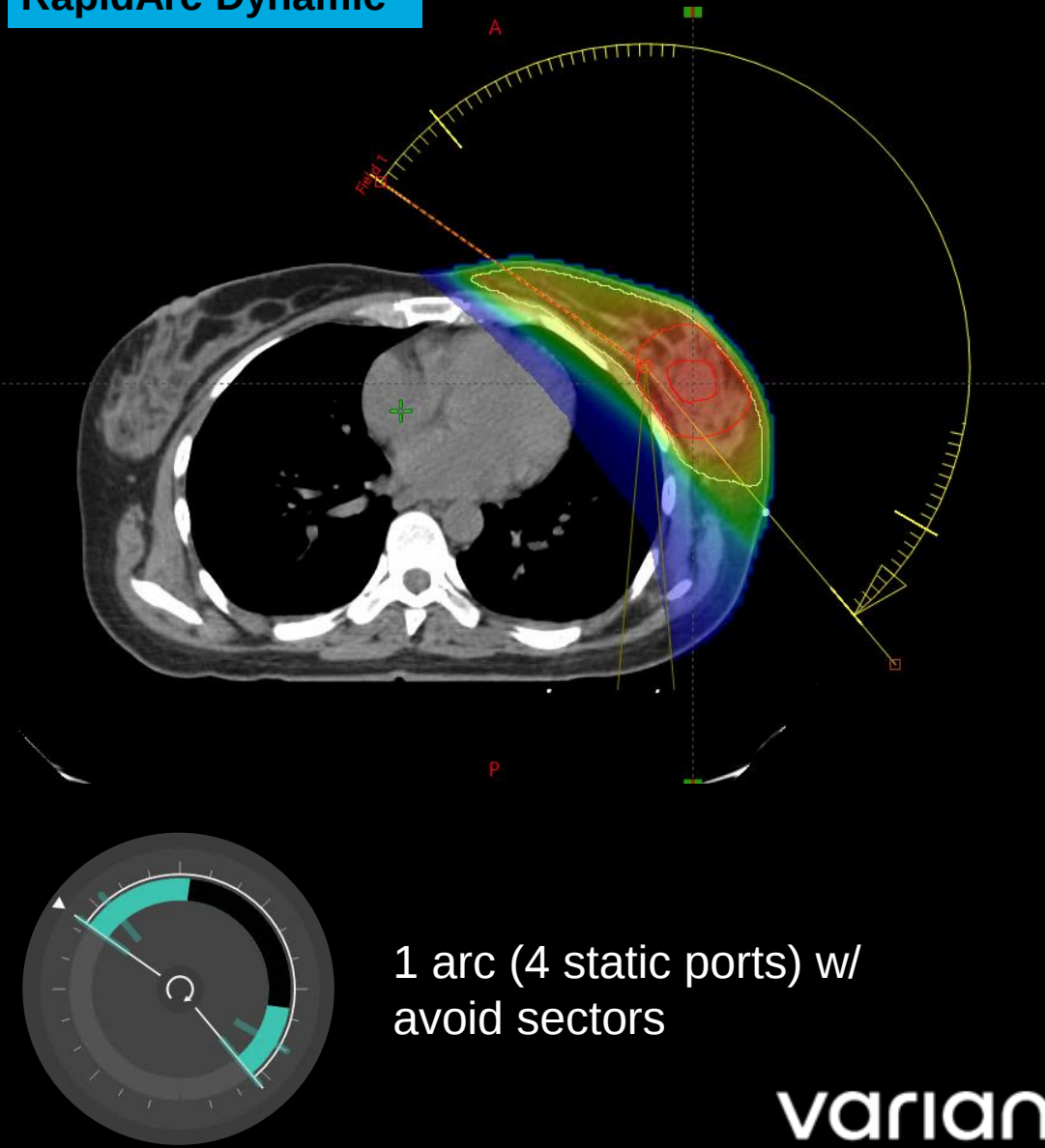
RapidArc Dynamic

Plan comparisons – Breast SIB

Clinical Goals – Contralateral Breast and Lung, Heart and Ipsilateral Lung

Clinical goals: All Plans		☐ Evaluate Goals for All Plans								
Plan		■ RAD			▲ IMRT			● VMAT		
Total Dose		48.000 Gy			48.000 Gy			48.000 Gy		
Clinical Goal Summary		0	0	15	1	0	14	2	0	13
● PTVLumpEval	P1	Dmax ≤ 55.00 Gy		50.42 Gy	51.02 Gy		50.93 Gy			
	P1	V 52.80 Gy ≤ 5.0 %		0.00 %	0.00 %		0.00 %			
	P1	V 45.60 Gy ≥ 95.0 %		99.25 %	99.06 %		99.57 %			
● CONTRA_BRE...	P2	Dmean ≤ 1.00 Gy		0.14 Gy	0.20 Gy		0.61 Gy			
	P2	Dmax ≤ 2.40 Gy		0.91 Gy	3.71 Gy		3.68 Gy			
● CONTRA_LUNG	P2	V 4.00 Gy ≤ 10.0 %		0.00 %	0.00 %		2.72 %			
	P2	V 8.00 Gy ≤ 10.0 %		1.78 %	3.04 %		4.96 %			
● HEART	P2	Dmean ≤ 2.00 Gy		1.26 Gy	1.69 Gy		3.00 Gy			
	P2	V 4.00 Gy ≤ 50.0 %		11.58 %	24.34 %		43.84 %			
● IPSILATERAL_...	P2	V 8.00 Gy ≤ 35.0 %		6.47 %	12.10 %		21.51 %			
	P2	V 16.00 Gy ≤ 15.0 %		3.58 %	6.93 %		10.11 %			
	P1	Dmax ≤ 46.00 Gy		45.18 Gy	45.39 Gy		45.33 Gy			
● PTV Breast - P...	P1	D 50.0 % ≤ 43.20 Gy		41.11 Gy	40.67 Gy		40.96 Gy			
	P1	V 48.00 Gy ≤ 30.0 %		7.50 %	11.34 %		13.23 %			
	P1	V 38.00 Gy ≥ 95.0 %		97.16 %	97.81 %		98.20 %			

RapidArc Dynamic

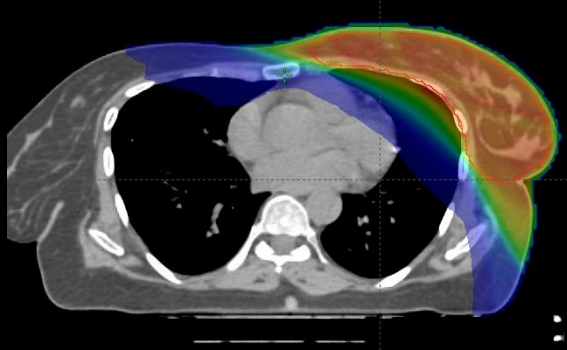


Every Gray Matters – Breast

Minimizing dose to reduce heart toxicity

Predictive Factors

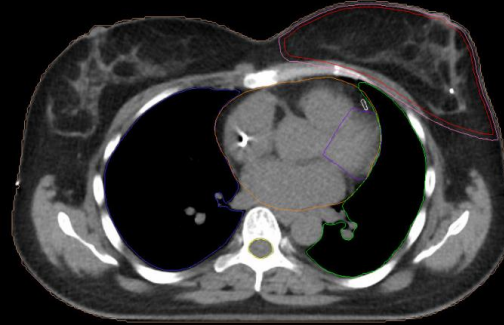
1.56 x



1.56 x greater risk of cardiac disease death in left-sided breast patients^{2, 3}

Dose Management

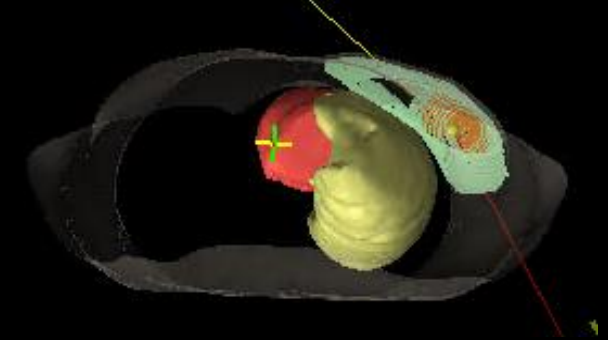
4-5 Gy



Most frequently reported mean heart dose^{1,4}

Impact of Gy

7.4 %



Major coronary events increase linearly by **7.4% per Gy²**

1. Konstantinou E et al. Radiation Dose to critical structures from 3D CRT, IMRT & VMAT techniques for left sides Breast cancer. J Pers Med. 2024 Jan, 14(1): 63
2. DarbyS.C., Ewertz M., McGale P., Bennet A.M., Blom-Goldman U., Brønnum D., Correa C., Cutter D., Gagliardi G., Gigante B., et al. Risk of Ischemic Heart Disease in Women after Radiotherapy for Breast Cancer. *N. Engl. J. Med.* 2013;368:987–998. doi: 10.1056/NEJMoa1209825.
3. Bouillon K, Haddy N, Delalogue S, Garbay JR, et al. Long-term cardiovascular mortality after radiotherapy for breast cancer. J Am Coll Cardiol 2011 Jan 25;57(4) :445-52.
4. Chirillia et al Organ-sparing techniques and dose-volume constraints used in breast cancer radiation therapy – Results from European and Latin American surveys; *Clin Transl Radiat Oncol.* 2024 May; 46: 100752.

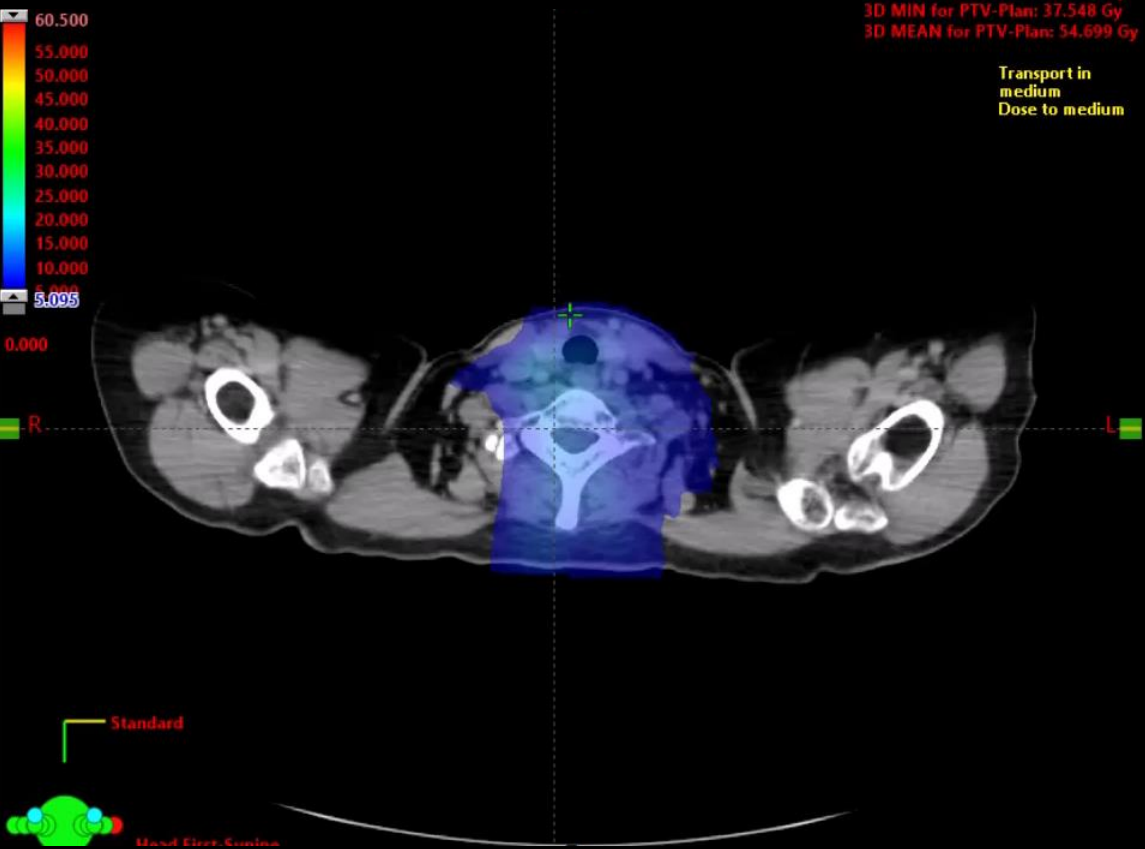
RapidArc Dynamic

Plan comparisons - Lung

RapidArc Dynamic



RapidArc



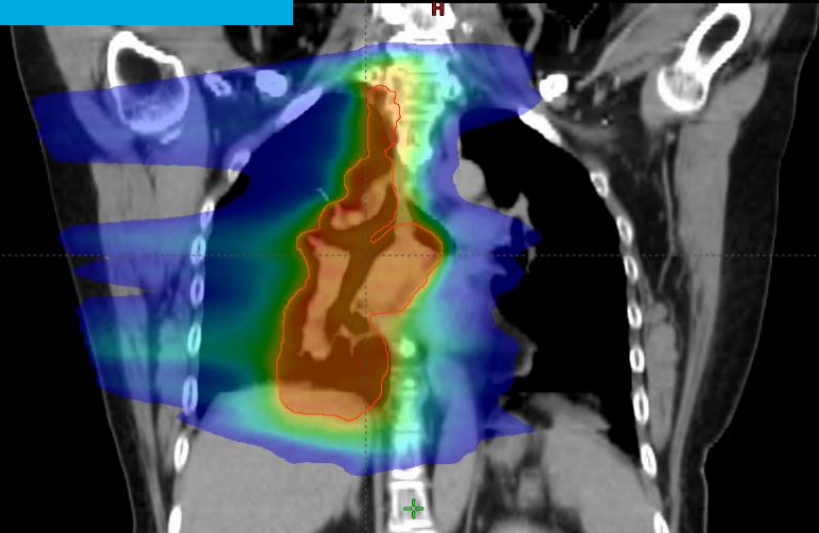
RapidArc Dynamic

Plan comparisons – Advanced Lung

Clinical Goals – Contralateral Lung V5, Esophagus

Clinical goals: All Plans			☐ Evaluate Goals for All Plans					
Plan			■ RAD			▲ VMAT		
Total Dose			55.000 Gy			55.000 Gy		
Clinical Goal Summary			0	0	11	0	0	11
● PTV-Plan	P1	D 2.0 % < 107.0 %	104.35 %			104.68 %		
	P1	D 5.0 % < 105.0 %	103.68 %			102.88 %		
	P1	D 95.0 % > 95.0 %	95.24 %			96.20 %		
	P1	D 99.0 % > 90.0 %	90.07 %			91.85 %		
● CORD	P1	Dmax < 44.00 Gy	42.15 Gy			42.53 Gy		
● HEART	P3	V 30.00 Gy < 36.0 %	19.64 %			20.04 %		
● LUNG_LT	P2	V 5.00 Gy < 80.0 %	1.87 %			17.58 %		
● Lungs-PTV	P2	V 20.00 Gy < 35.0 %	23.64 %			21.82 %		
	P2	Dmean < 18.00 Gy	11.84 Gy			13.02 Gy		
● OESOPHAGUS	P3	D 1.00 cm³ < 55.00 Gy	38.83 Gy			50.94 Gy		
● RT BRACH PLEXUS	P1	Dmax < 55.00 Gy	49.43 Gy			51.62 Gy		

RapidArc



RapidArc Dynamic

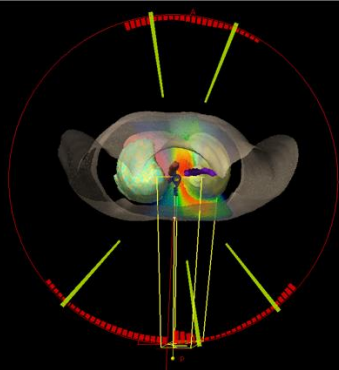


Every Gray Matters – Lung

Directional dose modulation for superior low-dose control, minimizing pneumonitis

Effective Dose Management

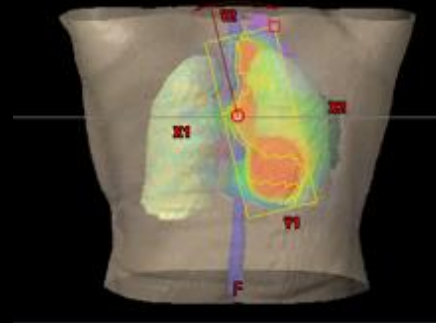
V5 < 60%



Reduces the incidence of grade 2+ pneumonitis from **60% to 25%**¹

Risk of Pneumonitis

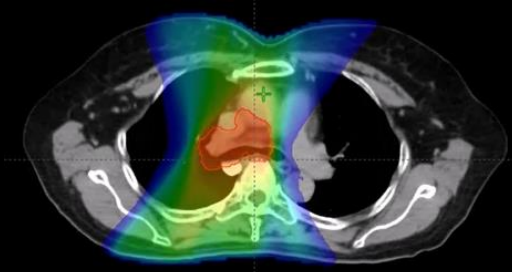
1.34x



1 Gy increase in ipsilateral Mean Lung Dose (MLD) raises the risk of radiation pneumonitis (RP) by **1.34x**²

Prioritizing the Patient

< 5%



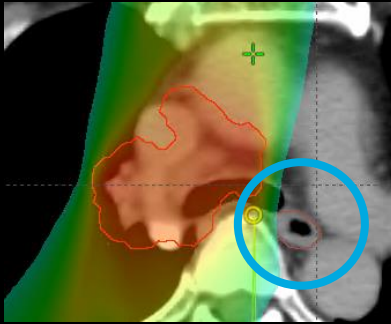
Grade 2+ pneumonitis is **less than 5%** when the total lung V5 is $\leq 36\%$ ³

1. Tsukita Y, Yamamoto T, Mayahara H, et al. Intensity-modulated radiation therapy with concurrent chemotherapy followed by durvalumab for stage III non-small cell lung cancer: A multi-center retrospective study. *Radiother Oncol.* 2021;160:266-272. doi:10.1016/j.radonc.2021.05.016
2. Kirakli Turkey. *Journal of Cancer Research and Therapeutics* 19(5):p 1153-1159, Jul–Sep 2023. | DOI: 10.4103/jcrt.jcrt_618_21:
3. Shepherd A, et al. Clinical and dosimetric predictors of radiation pneumonitis in patients with Non-Small Cell Lung cancer undergoing post-operative Radiation Therapy. *Pract Radiat Oncol.* 2021 ; 11(1): e52–e62. doi:10.1016/j.prro.2020.09.014

Every Gray Matters – Lung

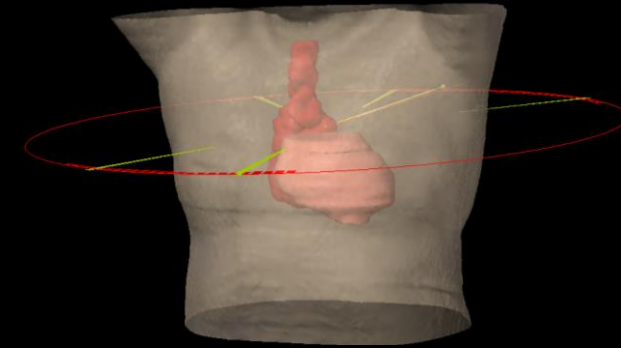
Better dose modulation to minimize dose-related toxicity

Safeguarding Against Esophagitis



- Prioritize MED (Mean Esophageal Dose) and D2cc due to strong link to grade 2+ and 3+ esophagitis¹
- To keep the **risk** of grade 2 or higher esophagitis **below 30%**, MED should be kept under **27 Gy**²

Proactive Cardiac Protection



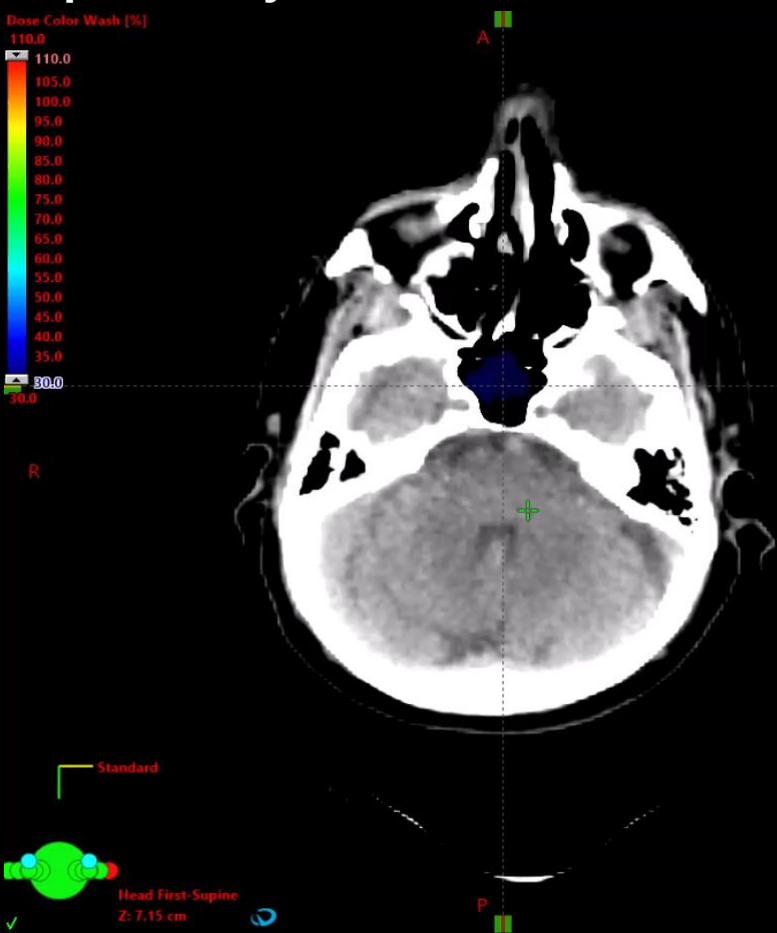
- By maintaining LAD coronary artery dose **V15 Gy below 10%**, you can **significantly lower the risk** of major cardiac events within the **first year**³

1. Herr DJ, Yin H, Bergsma D, et al. Factors associated with acute esophagitis during radiation therapy for lung cancer. *Radiother Oncol*. 2024;197:110349. doi:10.1016/j.radonc.2024.110349
2. Huang EX, Bradley JD, El Naqa I, et al. Modeling the risk of radiation-induced acute esophagitis for combined Washington University and RTOG trial 93-11 lung cancer patients. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2012;82(5):1674-1679. doi:10.1016/j.ijrobp.2011.02.052
3. Dose to LAD: Atkins KM et al. Association of Left Anterior Descending Coronary Artery Radiation Dose With Major Adverse Cardiac Events and Mortality in Patients With Non–Small Cell Lung Cancer". *JAMA Oncol*. 2021;7(2):206-219. doi:10.1001/jamaoncol.2020.6332

RapidArc Dynamic

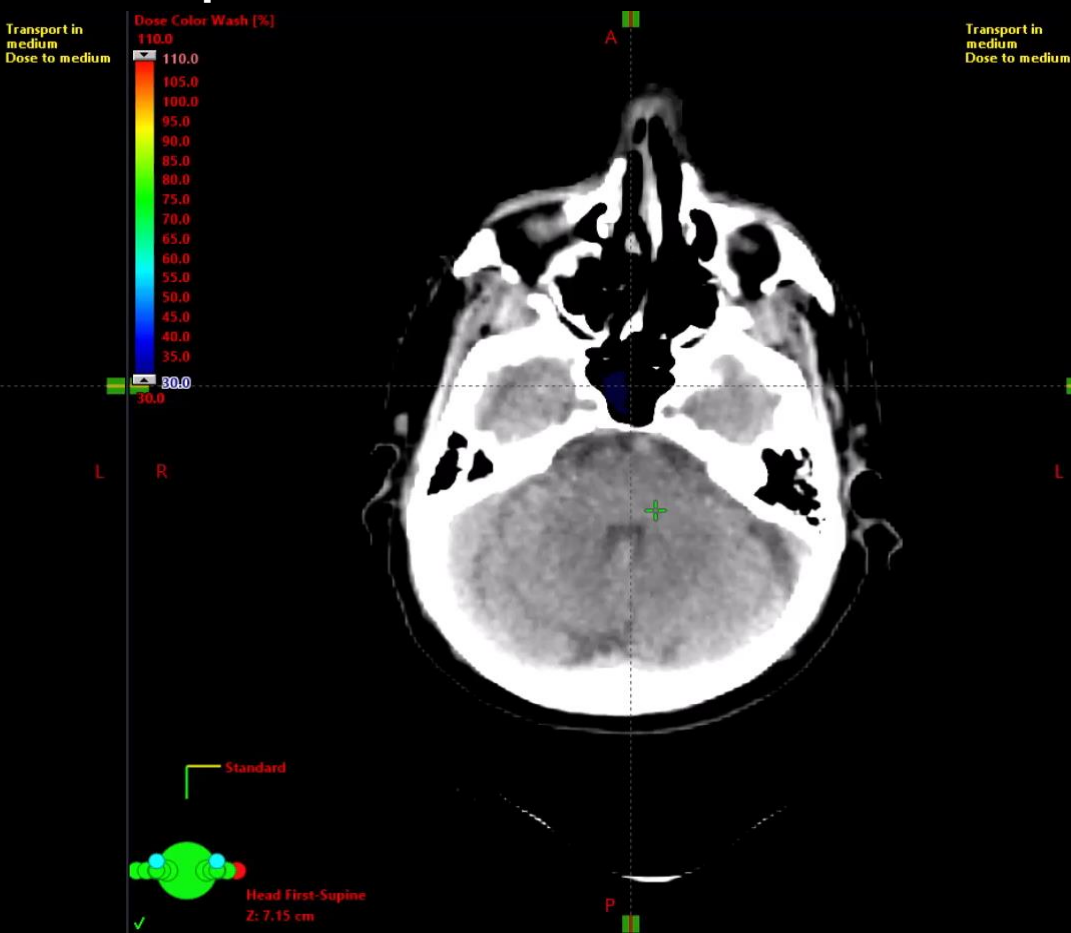
Plan comparisons – Head & Neck

RapidArc Dynamic



1 arc (5 modulated ports)

RapidArc



4 arcs

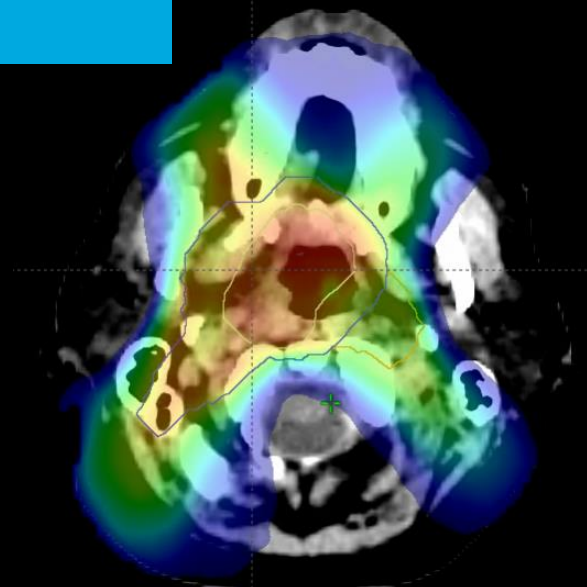
RapidArc Dynamic

Plan comparisons – Head & Neck

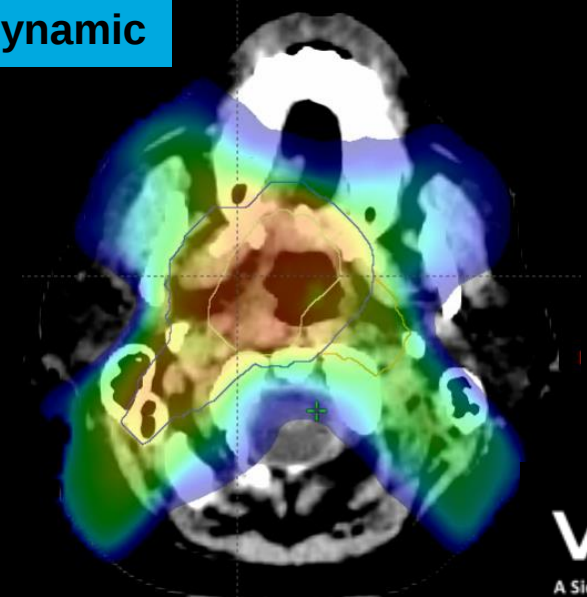
Clinical Goals – Lips / Oral Cavity / Parotids / Larynx

Plan			■ RAD-1 Arc	▲ VMAT
Total Dose			70.000 Gy	70.000 Gy
Larynx	P3	Dmean ≤ 40.00 Gy	14.18 Gy	20.23 Gy
Lens_L	P4	D 0.03 cm ³ ≤ 10.00 Gy	2.05 Gy	1.96 Gy
Lens_R	P4	D 0.03 cm ³ ≤ 10.00 Gy	2.03 Gy	2.13 Gy
Lips	P4	Dmean ≤ 30.00 Gy	22.75 Gy	26.26 Gy
Mandible	P4	D 0.03 cm ³ ≤ 73.50 Gy	72.38 Gy	76.03 Gy
OCavity-PTV	P4	Dmean < 30.00 Gy	31.82 Gy	36.45 Gy
OpticNerve_L	P3	D 0.03 cm ³ ≤ 55.00 Gy	3.04 Gy	2.92 Gy
OpticNerve_R	P3	D 0.03 cm ³ ≤ 55.00 Gy	3.25 Gy	3.28 Gy
OralCavity	P4	Dmean ≤ 30.00 Gy	61.39 Gy	63.11 Gy
ParotidContra	P3	Dmean ≤ 20.00 Gy	16.76 Gy	18.51 Gy
ParotidIpsi	P3	Dmean ≤ 20.00 Gy	36.45 Gy	36.61 Gy
PharynxConst	P3	Dmean ≤ 45.00 Gy	47.35 Gy	48.59 Gy
Pituitary	P3	D 0.03 cm ³ ≤ 45.00 Gy	6.01 Gy	6.04 Gy
SpinalCord	P2	D 0.03 cm ³ ≤ 45.00 Gy	39.05 Gy	24.57 Gy
SpinalCord_05	P2	D 0.03 cm ³ ≤ 50.00 Gy	43.77 Gy	41.71 Gy

RapidArc



RapidArc Dynamic



varian
A Siemens Healthineers Company

RapidArc Dynamic

Plan comparisons – Head & Neck

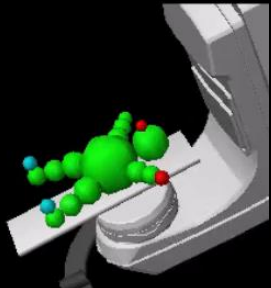
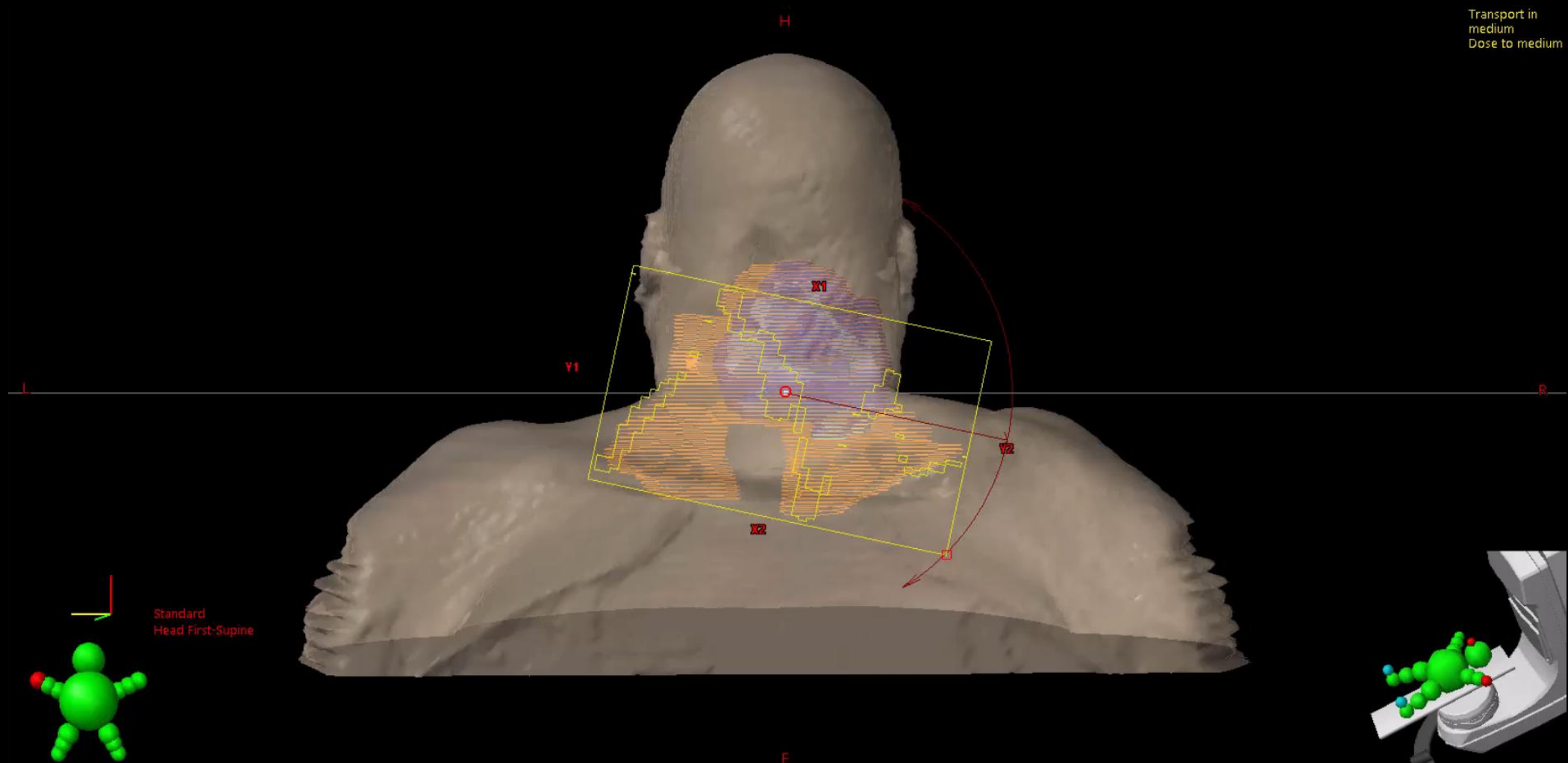
Clinical Goals – Lips / Oral Cavity / Parotids / Larynx

Plan			■ RAD-1 Arc			▲ VMAT		
Total Dose			70.000 Gy			70.000 Gy		
Clinical Goal Summary			5	1	29	9	0	26
CTV56	P1	V 52.90 Gy ≥ 99.0 %	99.96 %			100.00 %		
CTV63	P1	V 58.80 Gy ≥ 99.0 %	100.00 %			100.00 %		
CTV70	P1	V 68.60 Gy ≥ 99.0 %	99.97 %			99.96 %		
PTV56	P1	V 56.00 Gy ≥ 95.0 %	97.41 %			92.60 %		
PTV63	P1	V 63.00 Gy ≥ 95.0 %	97.13 %			96.90 %		
PTV70	P1	V 70.00 Gy ≥ 95.0 %	95.00 %			95.00 %		
BrachialPlexus_L	P4	D 0.03 cm³ ≤ 66.00 Gy	58.47 Gy			58.51 Gy		
BrachialPlexus_R	P4	D 0.03 cm³ ≤ 66.00 Gy	58.43 Gy			57.81 Gy		
Brain	P3	D 0.03 cm³ ≤ 60.00 Gy	55.43 Gy			61.59 Gy		
Brainstem	P2	D 0.03 cm³ ≤ 54.00 Gy	34.78 Gy			32.45 Gy		
Chiasm	P3	D 0.03 cm³ ≤ 55.00 Gy	2.95 Gy			2.97 Gy		
Cochlea_L	P4	Dmean ≤ 35.00 Gy	14.64 Gy			10.83 Gy		
Cochlea_R	P4	Dmean ≤ 35.00 Gy	19.71 Gy			15.75 Gy		
Eye_L	P4	D 0.03 cm³ ≤ 45.00 Gy	4.61 Gy			3.11 Gy		
	P4	D 0.03 cm³ ≤ 25.00 Gy	4.61 Gy			3.11 Gy		

Eye_R	P4	D 0.03 cm ³ ≤ 45.00 Gy	4.50 Gy	4.50 Gy
	P4	D 0.03 cm ³ ≤ 25.00 Gy	4.50 Gy	4.50 Gy
LacrimalGlands	P4	D 0.03 cm ³ ≤ 30.00 Gy	2.16 Gy	2.02 Gy
Larynx	P3	Dmean ≤ 40.00 Gy	14.18 Gy	20.23 Gy
Lens_L	P4	D 0.03 cm ³ ≤ 10.00 Gy	2.05 Gy	1.96 Gy
Lens_R	P4	D 0.03 cm ³ ≤ 10.00 Gy	2.03 Gy	2.13 Gy
Lips	P4	Dmean ≤ 30.00 Gy	22.75 Gy	26.26 Gy
Mandible	P4	D 0.03 cm ³ ≤ 73.50 Gy	72.38 Gy	76.03 Gy
OCavity-PTV	P4	Dmean < 30.00 Gy	31.82 Gy	36.45 Gy
OpticNerve_L	P3	D 0.03 cm ³ ≤ 55.00 Gy	3.04 Gy	2.92 Gy
OpticNerve_R	P3	D 0.03 cm ³ ≤ 55.00 Gy	3.25 Gy	3.28 Gy
OralCavity	P4	Dmean < 30.00 Gy	61.39 Gy	63.11 Gy
ParotidContra	P3	Dmean ≤ 20.00 Gy	16.76 Gy	18.51 Gy
ParotidIpsi	P3	Dmean ≤ 20.00 Gy	36.45 Gy	36.61 Gy
PharynxConst	P3	Dmean ≤ 45.00 Gy	47.35 Gy	48.59 Gy
Pituitary	P3	D 0.03 cm ³ ≤ 45.00 Gy	6.01 Gy	6.04 Gy
SpinalCord	P2	D 0.03 cm ³ ≤ 45.00 Gy	39.05 Gy	24.57 Gy
SpinalCord_05	P2	D 0.03 cm ³ ≤ 50.00 Gy	43.77 Gy	41.71 Gy

Dynamic Collimator

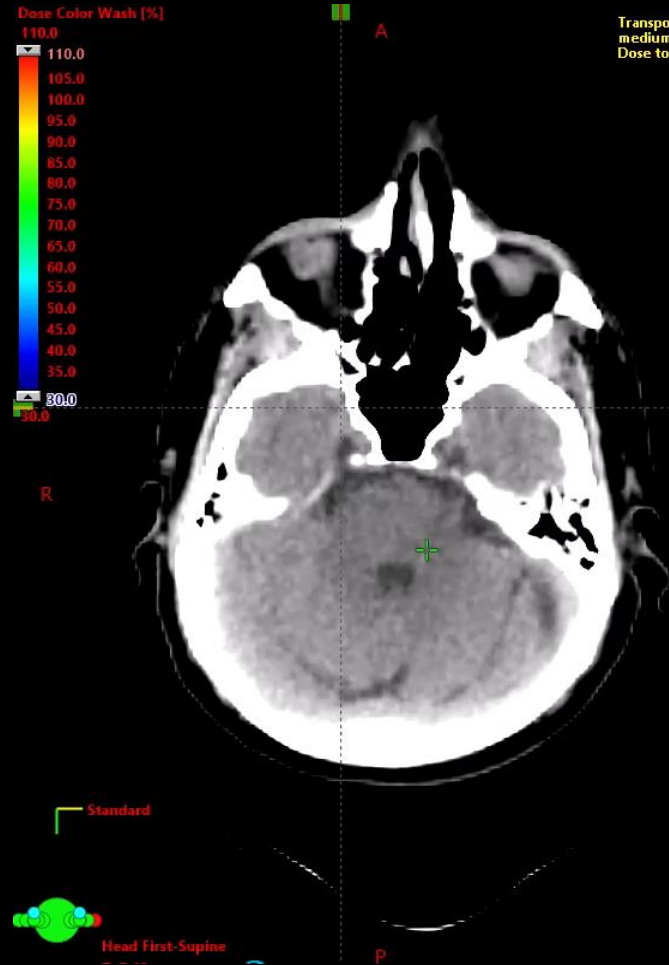
BEV Animation – Head & Neck



RapidArc Dynamic

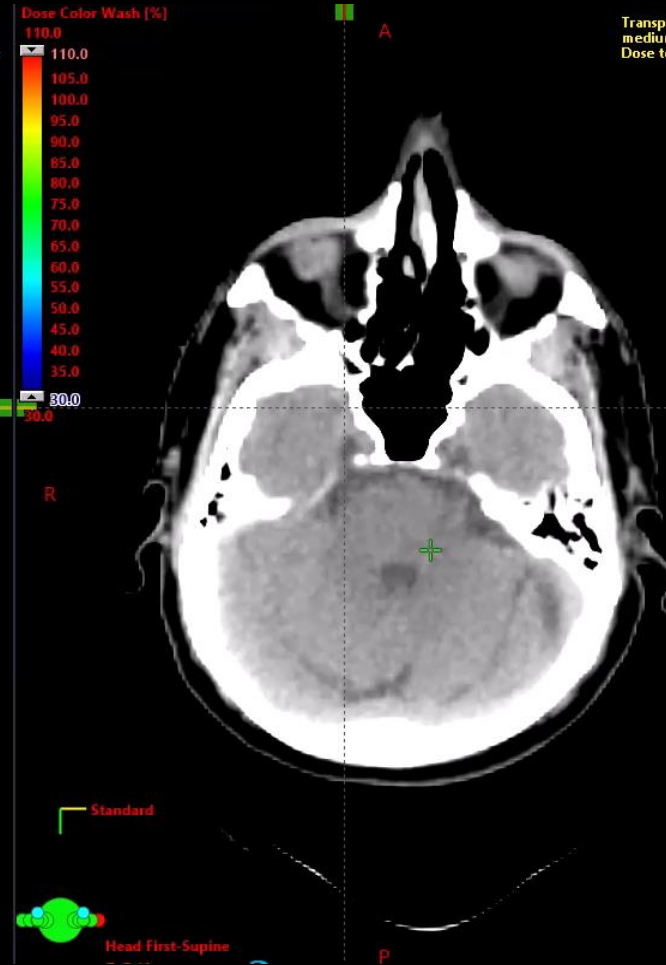
Plan comparisons – Head & Neck

RapidArc Dynamic



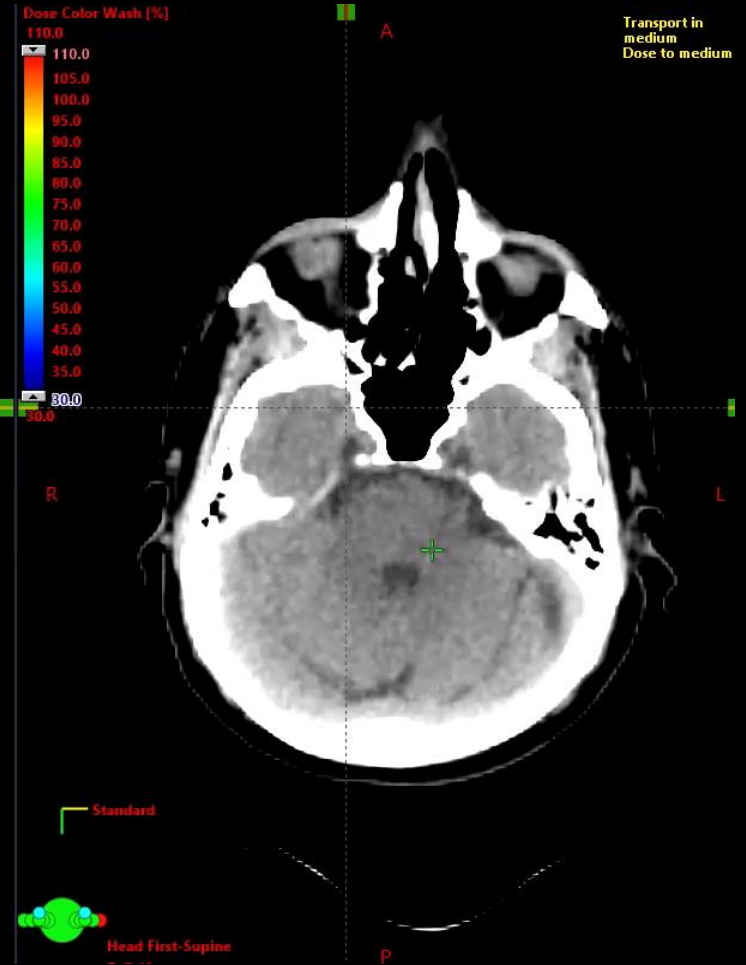
1 arc (5 modulated ports)

RapidArc Dynamic



2 arc (6 modulated ports)

RapidArc



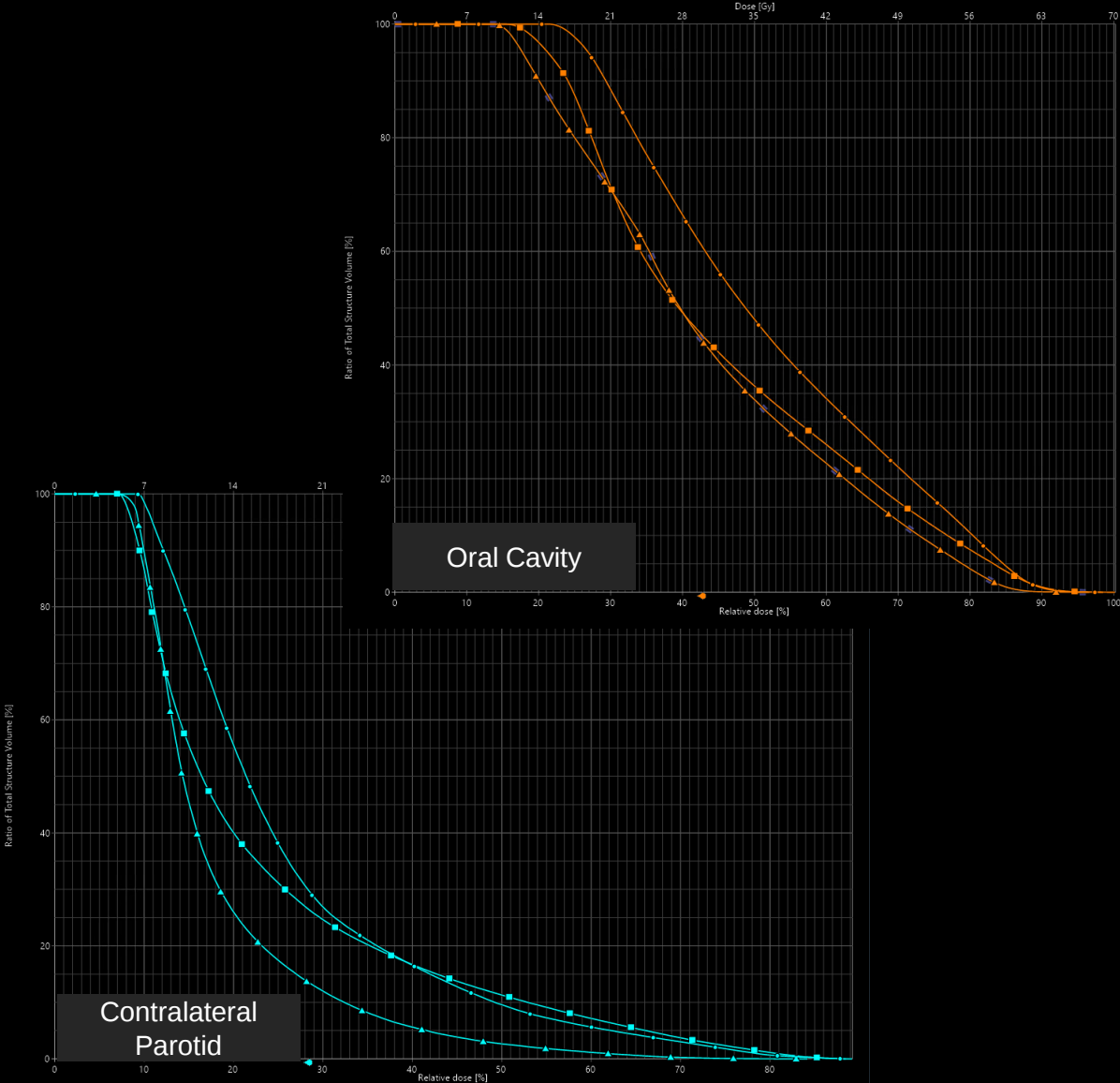
4 arcs

RapidArc Dynamic

Plan comparisons – Head & Neck

Clinical Goals – Lips / Oral Cavity / Parotids / Larynx

Plan			■ RAD-1 Arc	▲ RAD-2 Arcs	● VMAT
Total Dose			70.000 Gy	70.000 Gy	70.000 Gy
Clinical Goal Summary			5129	5129	9026
CTV56	P1	V 52.90 Gy ≥ 99.0 %	99.96 %	99.78 %	100.00 %
CTV63	P1	V 58.80 Gy ≥ 99.0 %	100.00 %	100.00 %	100.00 %
CTV70	P1	V 68.60 Gy ≥ 99.0 %	99.97 %	99.96 %	99.96 %
PTV56	P1	V 56.00 Gy ≥ 95.0 %	97.41 %	96.99 %	92.60 %
PTV63	P1	V 63.00 Gy ≥ 95.0 %	97.13 %	96.41 %	96.90 %
PTV70	P1	V 70.00 Gy ≥ 95.0 %	95.00 %	95.00 %	95.00 %
BrachialPlexus_L	P4	D 0.03 cm³ ≤ 66.00 Gy	58.47 Gy	59.19 Gy	58.51 Gy
BrachialPlexus_R	P4	D 0.03 cm³ ≤ 66.00 Gy	58.43 Gy	61.79 Gy	57.81 Gy
Brain	P3	D 0.03 cm³ ≤ 60.00 Gy	55.43 Gy	52.84 Gy	61.59 Gy
Brainstem	P2	D 0.03 cm³ ≤ 54.00 Gy	34.78 Gy	18.18 Gy	32.45 Gy
Chiasm	P3	D 0.03 cm³ ≤ 55.00 Gy	2.95 Gy	2.81 Gy	2.97 Gy
Cochlea_L	P4	Dmean ≤ 35.00 Gy	14.64 Gy	7.89 Gy	10.83 Gy
Cochlea_R	P4	Dmean ≤ 35.00 Gy	19.71 Gy	19.02 Gy	15.75 Gy
Larynx	P3	Dmean ≤ 40.00 Gy	14.18 Gy	13.17 Gy	20.23 Gy
Lens_L	P4	D 0.03 cm³ ≤ 10.00 Gy	2.05 Gy	1.99 Gy	1.96 Gy
Lens_R	P4	D 0.03 cm³ ≤ 10.00 Gy	2.03 Gy	1.87 Gy	2.13 Gy
Lips	P4	Dmean ≤ 30.00 Gy	22.75 Gy	20.43 Gy	26.26 Gy
Mandible	P4	D 0.03 cm³ ≤ 73.50 Gy	72.38 Gy	71.85 Gy	76.03 Gy
OCavity-PTV	P4	Dmean < 30.00 Gy	31.82 Gy	30.42 Gy	36.45 Gy
OpticNerve_L	P3	D 0.03 cm³ ≤ 55.00 Gy	3.04 Gy	2.93 Gy	2.92 Gy
OpticNerve_R	P3	D 0.03 cm³ ≤ 55.00 Gy	3.25 Gy	3.18 Gy	3.28 Gy
OralCavity	P4	Dmean ≤ 30.00 Gy	61.39 Gy	60.76 Gy	63.11 Gy
ParotidContra	P3	Dmean ≤ 20.00 Gy	16.76 Gy	12.77 Gy	18.51 Gy
ParotidIpsi	P3	Dmean ≤ 20.00 Gy	36.45 Gy	34.38 Gy	36.61 Gy
PharynxConst	P3	Dmean ≤ 45.00 Gy	47.35 Gy	47.80 Gy	48.59 Gy
Pituitary	P3	D 0.03 cm³ ≤ 45.00 Gy	6.01 Gy	5.52 Gy	6.04 Gy
SpinalCord	P2	D 0.03 cm³ ≤ 45.00 Gy	39.05 Gy	30.20 Gy	24.57 Gy
SpinalCord_05	P2	D 0.03 cm³ ≤ 50.00 Gy	43.77 Gy	42.00 Gy	41.71 Gy



Every Gray Matters – Head & Neck – Oral Cavity

Acute toxicity considerations - mucositis

Mucositis Onset

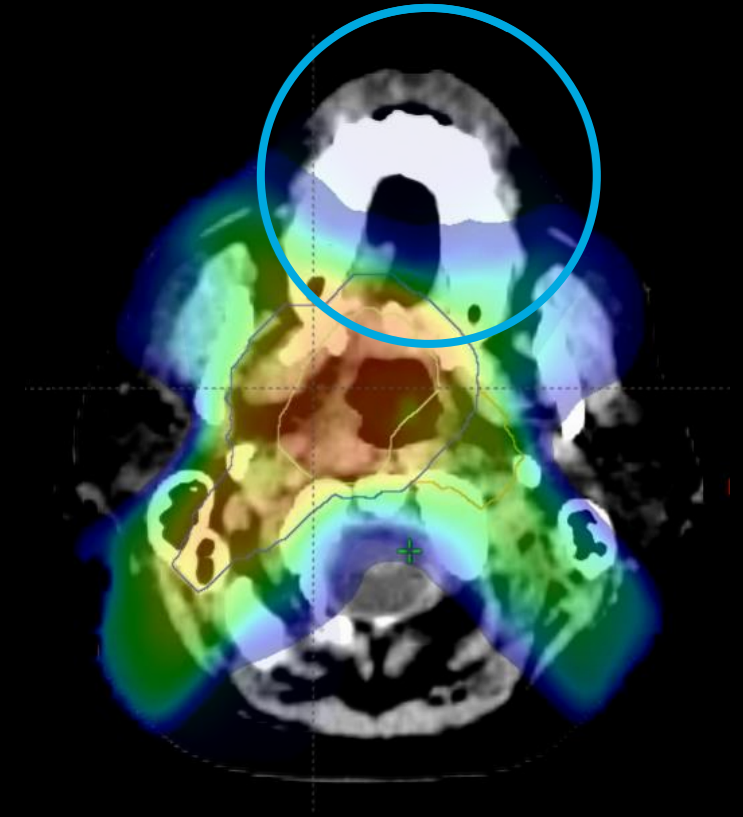
- Symptoms begin at 15 Gy, reaching full severity at 30 Gy¹

Predictive Factors

- V30 > 53% is a key predictor of grade ≥ 3 acute oral mucositis.²

Low-dose Importance

- Low-dose regions are key indicators for predicting acute toxicity^{3,4}



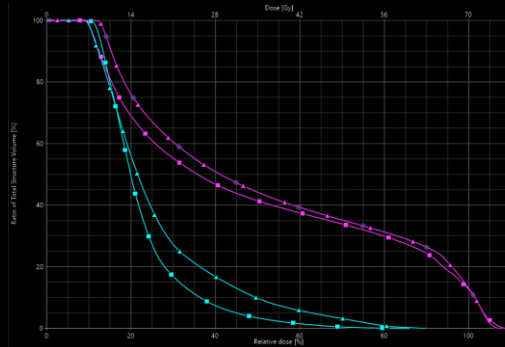
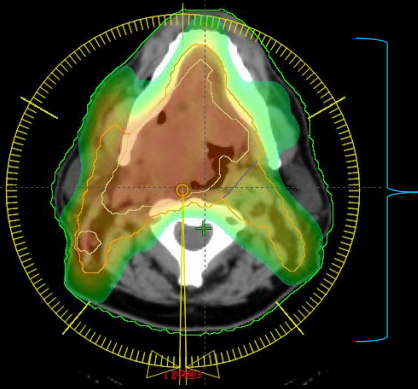
1. Sankar V, Xu, Y. Oral Complications from Oropharyngeal Cancer Therapy. Cancers 2023, 15, 4548. <https://doi.org/10.3390/cancers15184548>
2. Bansal A et al. Correlation of oral mucosa dose and volume parameters with Grade 3 mucositis, in patients treated with volumetric modulated arc radiotherapy for oropharyngeal cancer? Jpn J Clin Oncol. 2023 Mar 30;53(4):313-320. <https://doi.org/10.1093/jjco/hyac194>
3. Musha A et al. Tongue surface model can predict radiation tongue mucositis due to intensity-modulated radiation therapy for head and neck cancer. Int. J. Maxillofac. Surg. 2020;49:44-50. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2019.06.012>
4. Li , Kaixin, Yang, L et al. Oral Mucosa Dose Parameters Predicting Grade ≥3 Acute Toxicity in Locally Advanced Nasopharyngeal Carcinoma Patients treated with Concurrent Intensity-Modulated Radiation Therapy and Chemotherapy: An Independent Validation Study Comparing Oral Cavity versus Mucosal Surface Contouring Techniques. Translational Oncology (2017) 10, 752–759

Every Gray Matters – Head & Neck

Acute toxicity considerations - xerostomia

Targeted Treatment

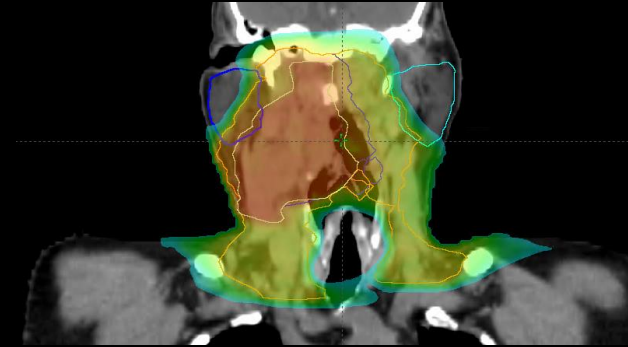
1.2x



Each **1 Gy** above 26Gy mean dose delivered to the parotid, increases risk of xerostomia by **1.2x³**, overserved at 6 and 12 months

Prioritizing the Patient

~ **12% ↓**



Reduction of mean parotid dose by 3.3 Gy; leads to **~12% lower risk** of grade 2+ xerostomia ^{1, 2}

1. Castelli J, et al. Impact of head and neck cancer adaptive radiotherapy to spare the parotid glands and decrease the risk of xerostomia. Radiat Oncol 2015;10:6.
2. Zhang P, Simon A, Rigaud B, et al. Optimal adaptive IMRT strategy to spare the parotid glands in oropharyngeal cancer. Radiother Oncol. 2016;120(1):41-47. doi:10.1016/j.radonc.2016.05.028
3. Mazzola R, Ricchetti F, Fiorentino A, et al. Dose-volume-related dysphagia after constrictor muscles definition in head and neck cancer intensity-modulated radiation treatment. Br J Radiol. 2014;87(1044):20140543. doi:10.1259/bjr.20140543

RapidArc Dynamic

Závěr

Proč RapidArc Dynamic

- rychlé plánování: algoritmus další generace, optimalizace během několika sekund
- další možnost modulace: hladce kombinuje dynamický kolimátor a statické úhly
- zlepšená účinnost a flexibilita: jeden arc, rychlejší doručení dávky
- zjednodušené workflow: snižuje složitost a variabilitu plánování

Technické základy

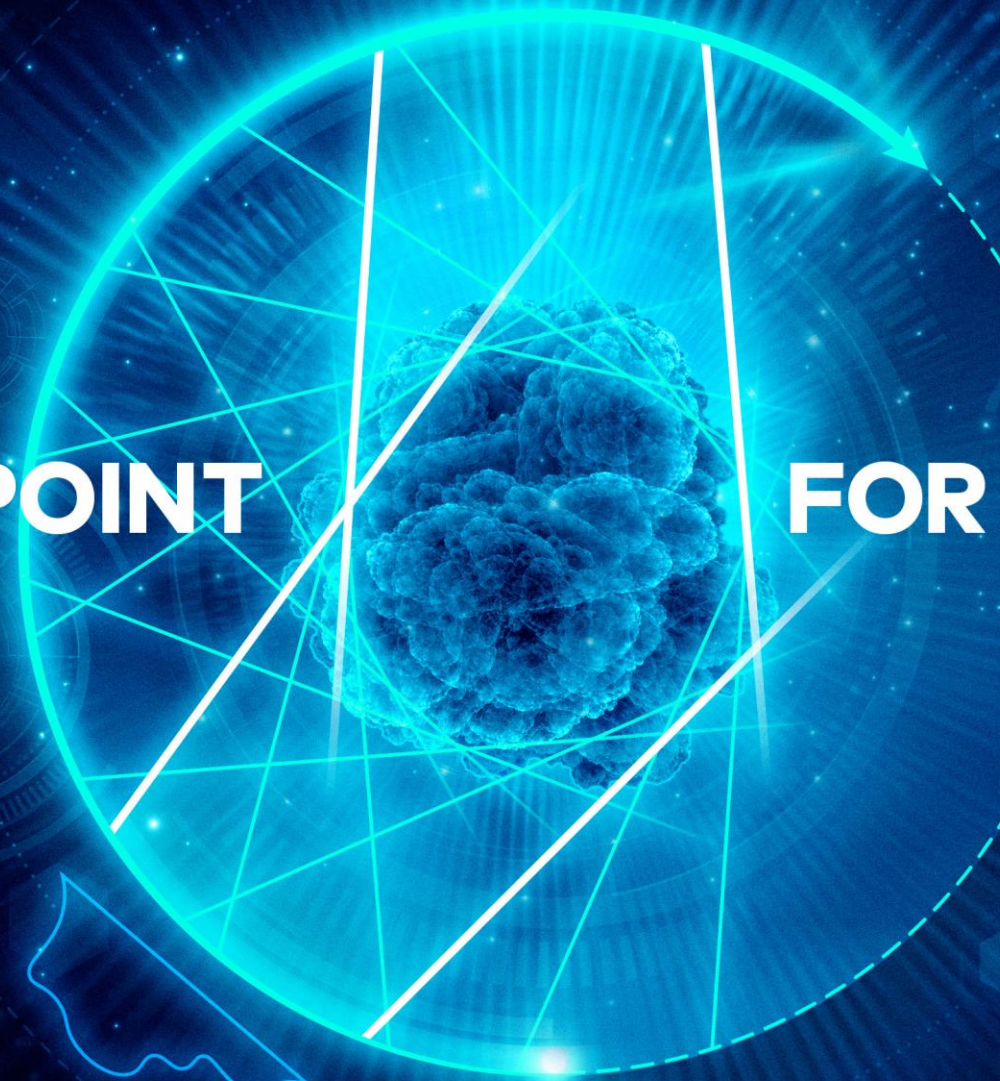
- nový GPU-centrický algoritmus: zvyšuje účinnost
- dynamický kolimátor: další stupeň volnosti, zlepšená modulace dávky
- nástroje zaměřené na plánování: arc tools, vážení static/ arc, auto skin-flash, známé funkce Eclipse (RapidPlan, MCO)

Klinické postřehy

- zlepšení dozimetrie: rychlejší plánování a vyšší kvalita plánu
- v začátku je možné využití knihovny Varian Medical Affairs



A TURNING POINT FOR ARC THERAPY



varian
A Siemens Healthineers Company

RapidArc Dynamic