



JAK PROVÉST DOKONALÉ CT SRDCE ?

Weichet J

RDG klinika FNKV a 3. LF UK Praha



**KUPTE SI NEJLEPŠÍ CT
PŘÍSTROJ, KTERÝ TO DOVEDE !**

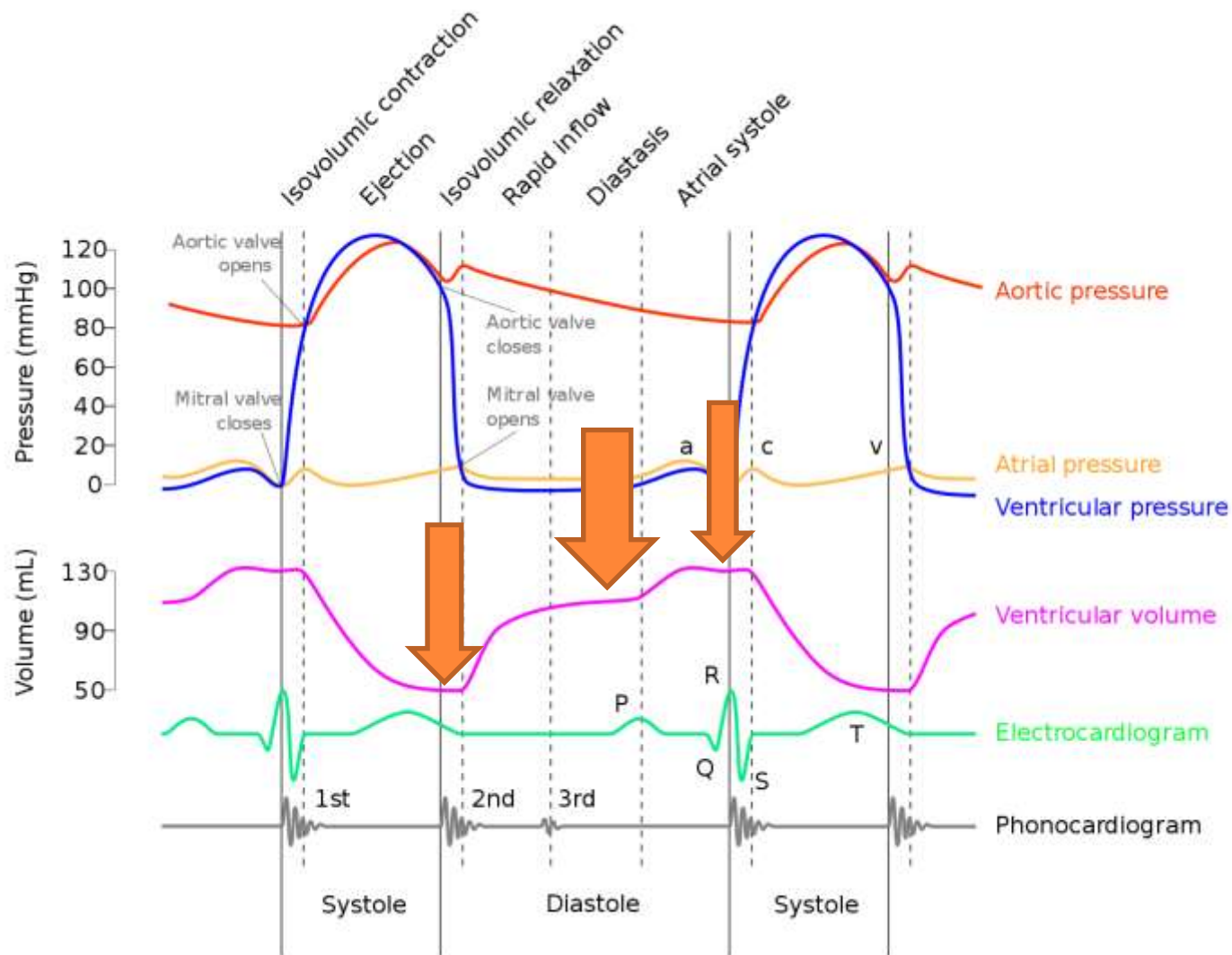
Který to je?

CT SRDCE / CT KORONAROGRAFIE

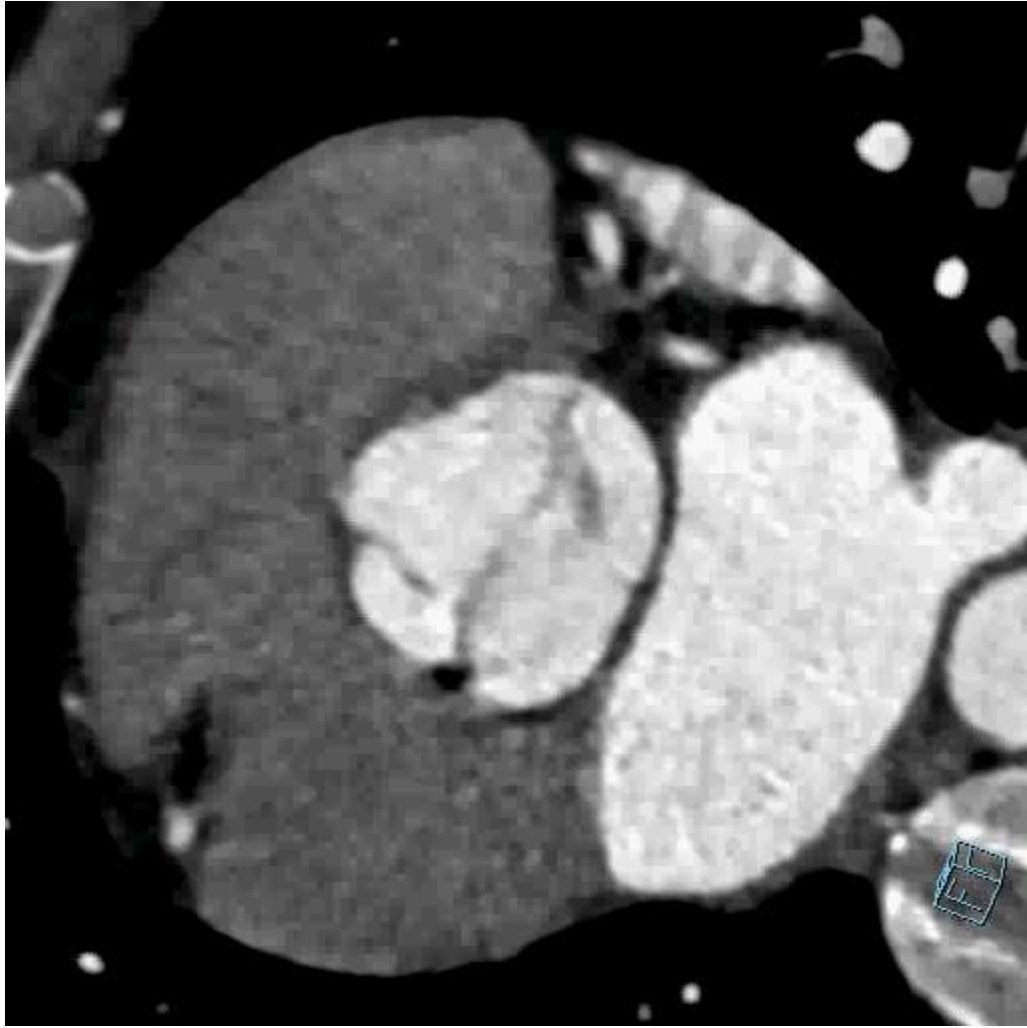
- Pro kvalitní zobrazení je třeba :
 - srdce zachytit ve fázi, kdy **není v pohybu**
 - Čím lepší **časové rozlišení** vašeho stroje, tím vyšší šance že se to povede
 - Ideální je zobrazit celé srdce během jediné otáčky gantry
 - u malých struktur (např. koronární tepny) je nutné dobré izotropické **prostorové rozlišení**
 - Nejlépe pod 0,5x0,5x0,5mm
 - dobře a dostatečně naplnit tepny (srdeční dutiny...) kontrastní látkou (**vysoký kontrast obrazu**)
 - Rychlé podání, vysoká koncentrace k.l.
 - Načasování scanu



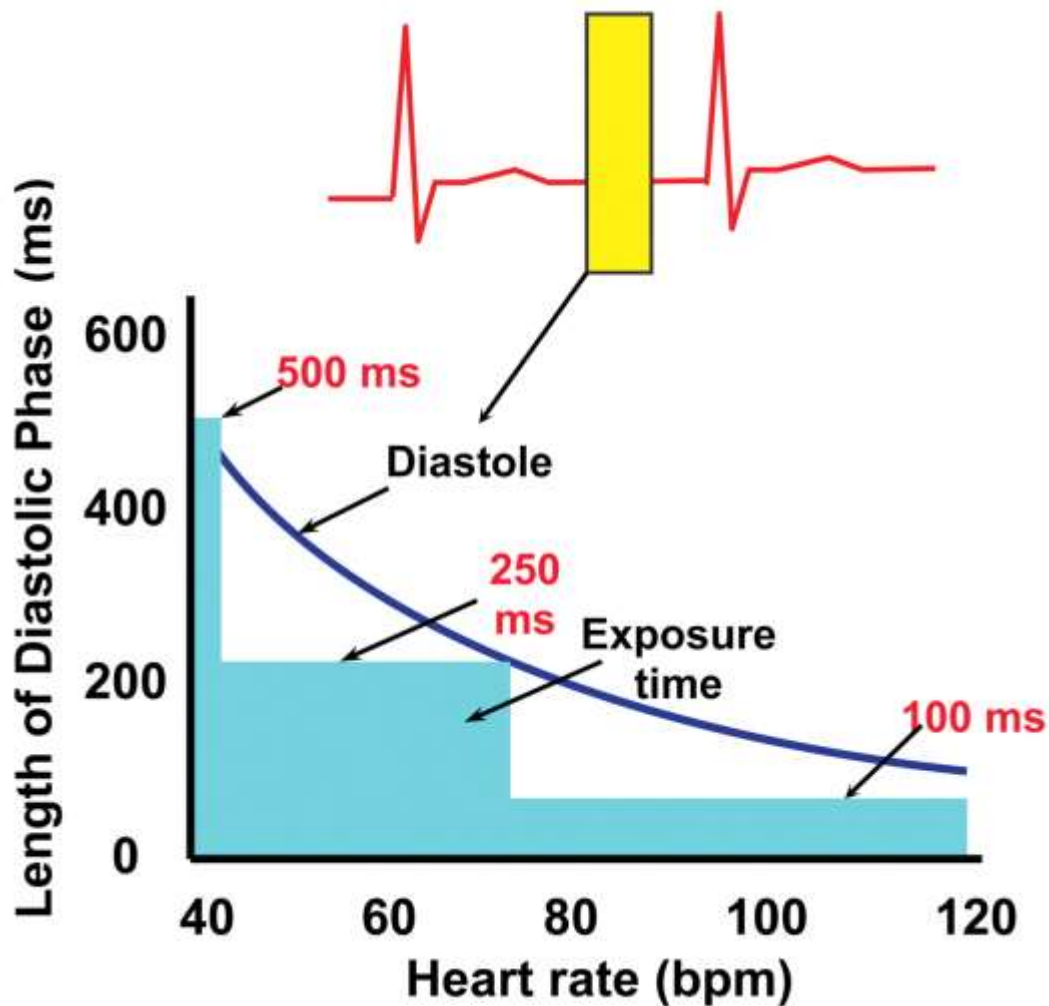
V KTERÉ ČÁSTI SRDEČNÍHO CYKLU ZOBRAZOVAT?



Srdeční cyklus – Wiggersův diagram



Délka diastoly se zkracuje s rostoucí srdeční frekvencí



JAK ZLEPŠIT ČASOVÉ ROZLIŠENÍ?

- Standardně pro rekonstrukci obrazu potřebujeme $\frac{1}{2}$ otáčky gantry
 - Rychlejší rotace gantry



RYCHLOST ROTACE : 3 OTÁČKY / SEC



PŘETÍŽENÍ
25g

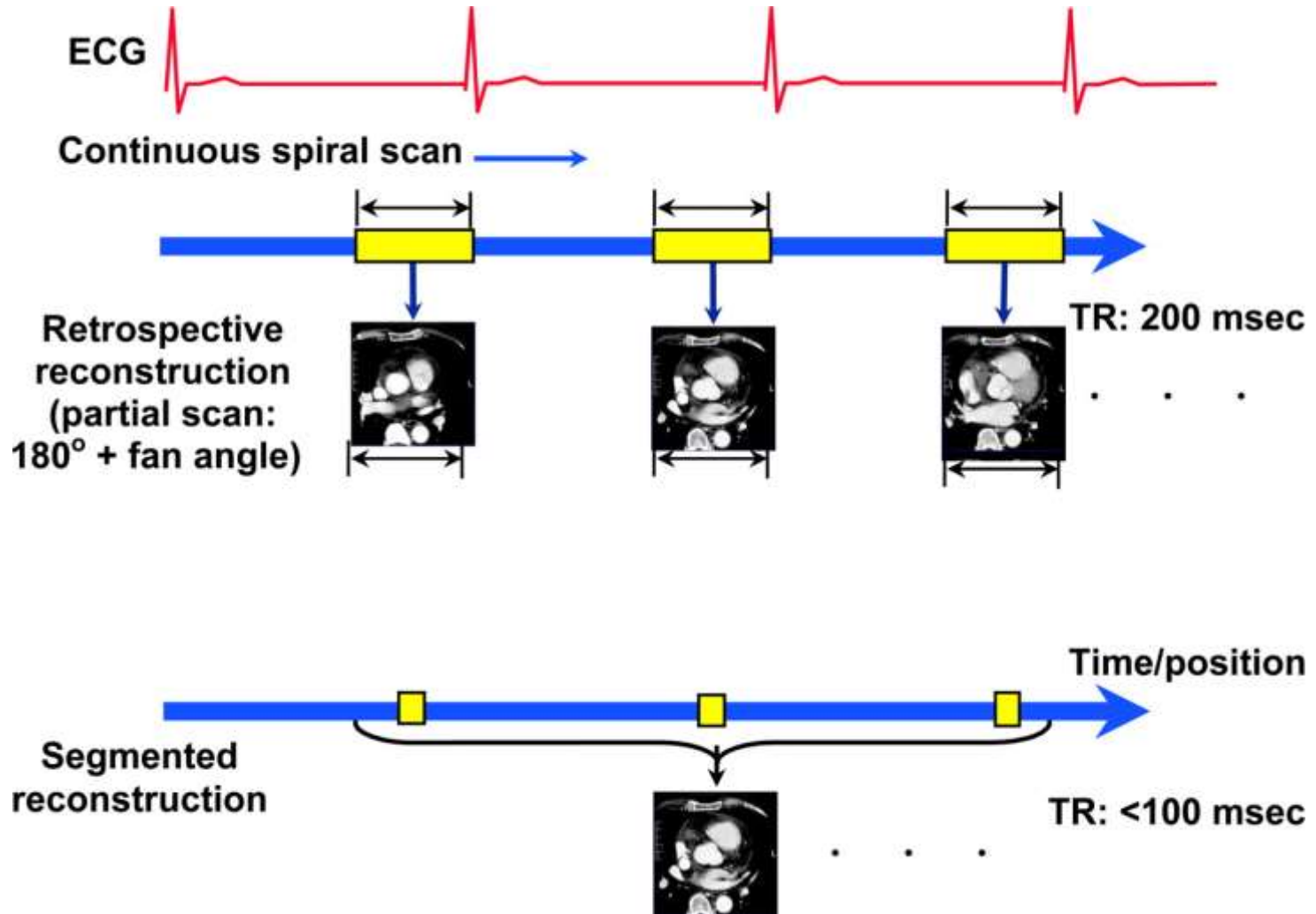


JAK ZLEPŠIT ČASOVÉ ROZLIŠENÍ?

- Standardně pro rekonstrukci obrazu potřebujeme $\frac{1}{2}$ otáčky gantry
 - Rychlejší rotace gantry
 - Segmentovaná rekonstrukce – použijeme data z více R-R intervalů pro rekonstrukci jednoho obrázku (pak nám stačí např. jen $\frac{1}{4}$ nebo i méně otáčky gantry)

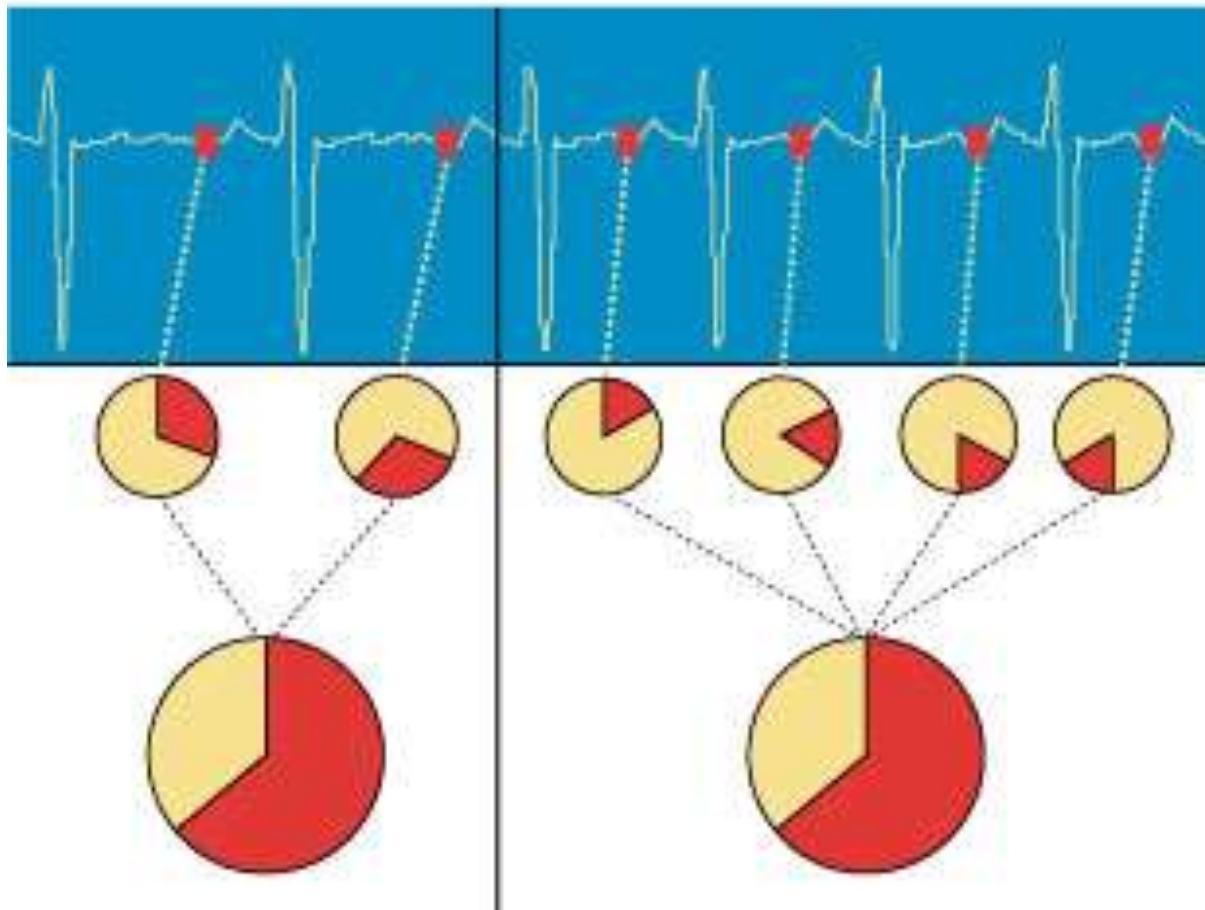


Segmentovaná rekonstrukce



Mahesh M , and Cody D D Radiographics 2007;27:1495-1509

Segmented Reconstruction Comparison



Čím více segmentů použiji, tím získám:

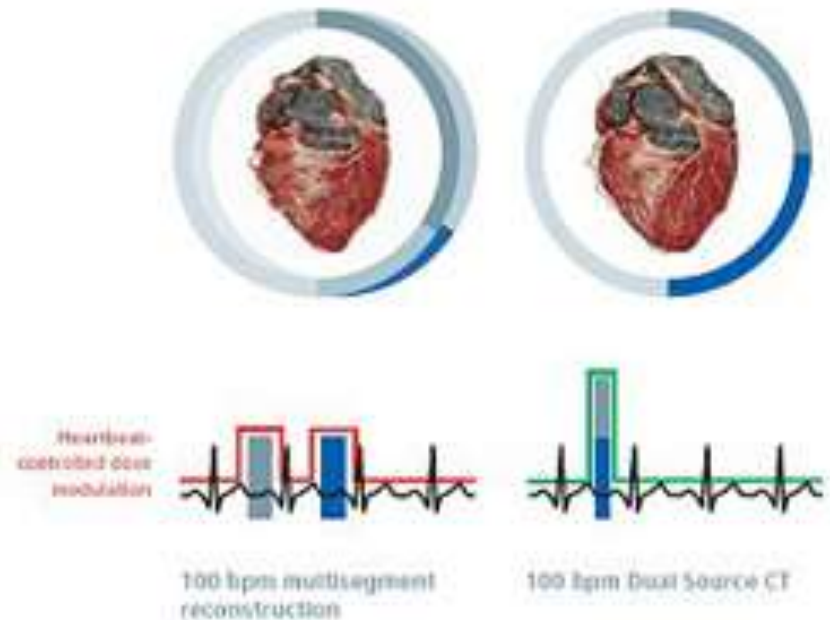
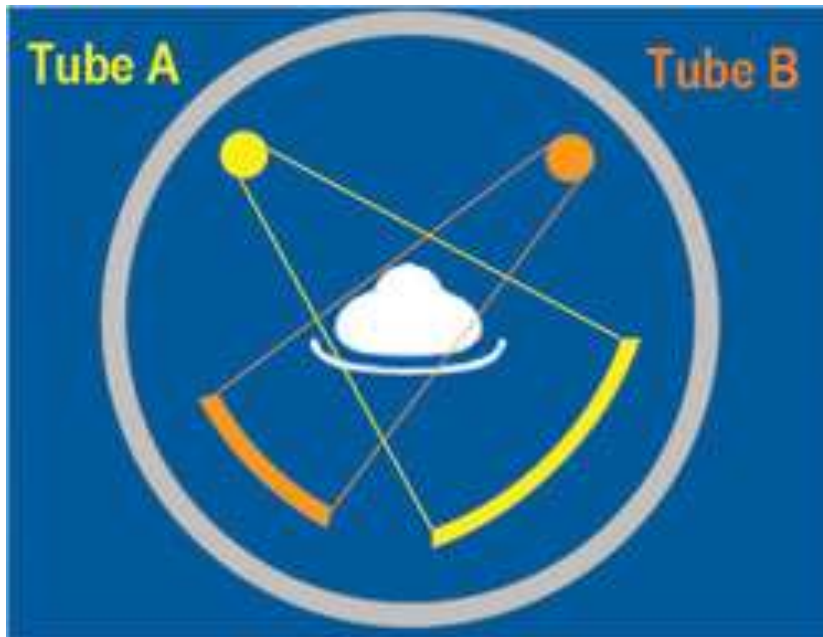
- lepší časové rozlišení
- horší artefakty z nestejně pozice struktur v jednotlivých srdečních stazích
 - „rozmazané tepny“

Jak zlepšit časové rozlišení?

- Standardně pro rekonstrukci obrazu potřebujeme $\frac{1}{2}$ otáčky gantry
 - Rychlejší rotace gantry
 - Segmentovaná rekonstrukce – použijeme data z více R-R intervalů pro rekonstrukci jednoho obrázku (pak nám stačí např. jen $\frac{1}{4}$ nebo i méně otáčky gantry)
 - Musí ale být pravidelný rytmus a kontrakce komor pokaždé stejná
 - Dva zdroje záření - dual source CT (stačí $\frac{1}{4}$ otáčky pro stejné množství dat)

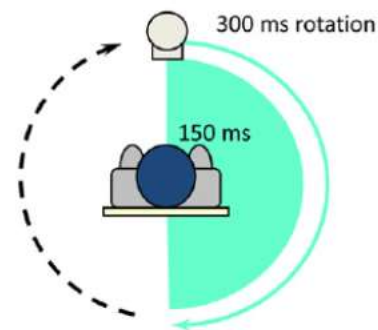
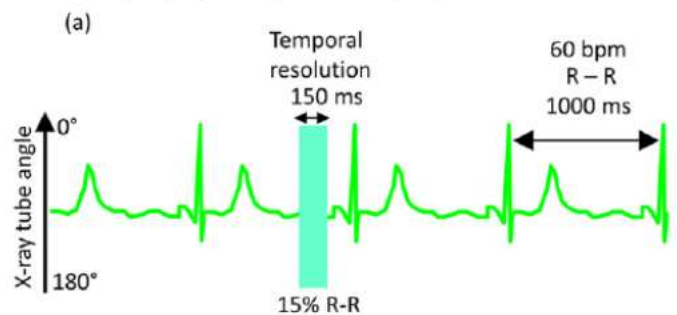
Dva zdroje záření

Při stejné rychlosti rotace gantry mám poloviční časové rozlišení

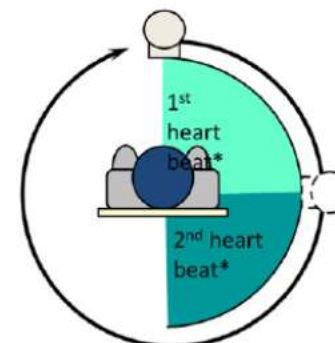
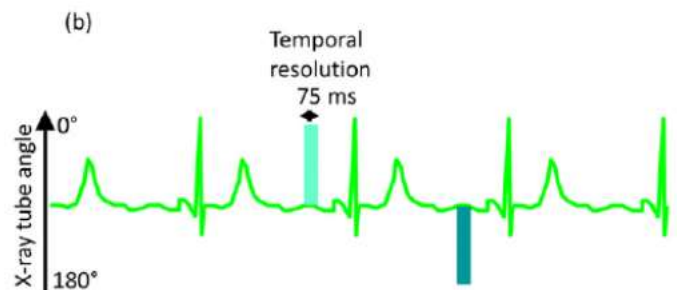


ČASOVÉ ROZLIŠENÍ

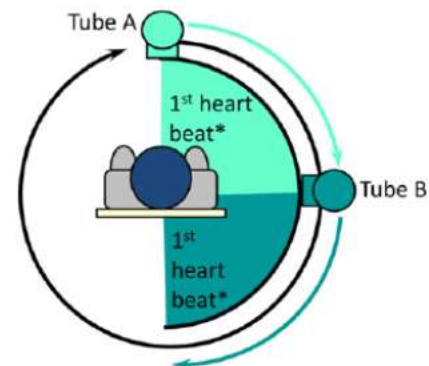
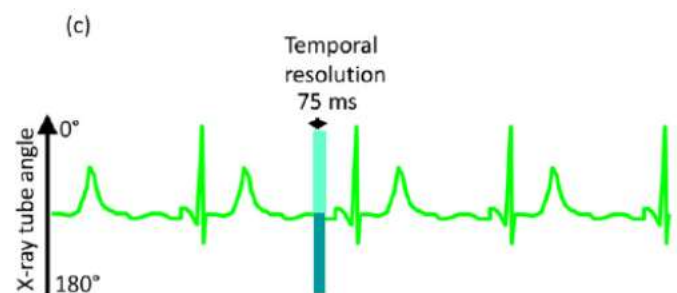
Běžný scan



Segmentovaná Rekonstrukce

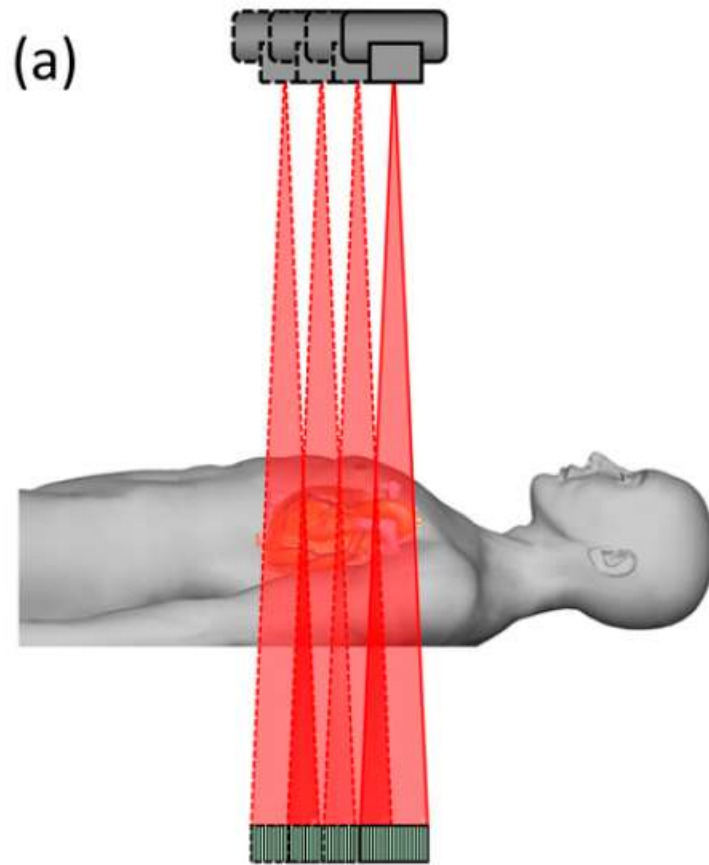


Dual source

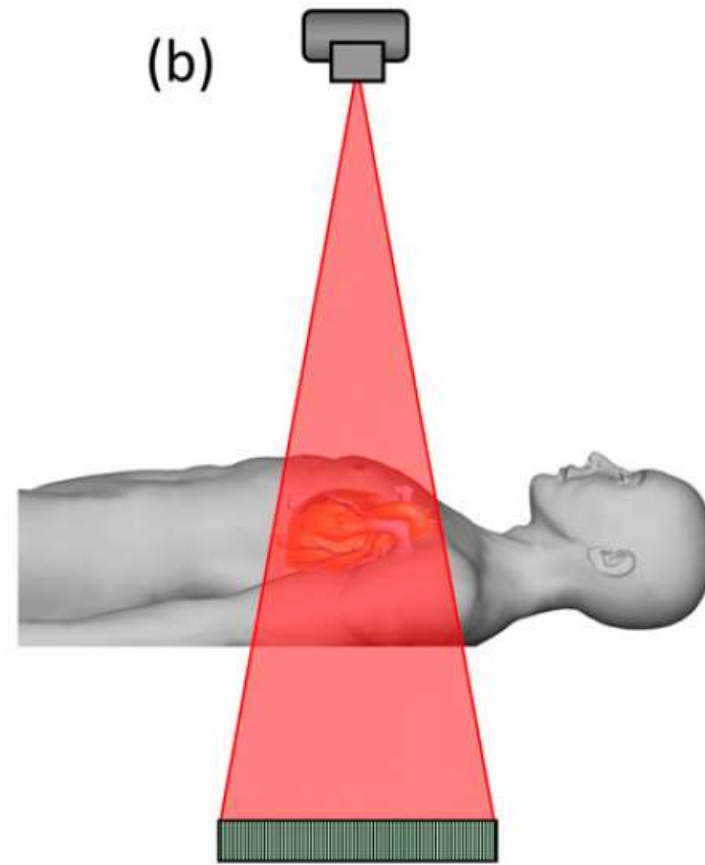


* Both segments acquired at same z-axis position

ŠÍŘE DETEKTORU – ČÍM ŠIRŠÍ, TÍM LEPŠÍ ! (?)



4cm

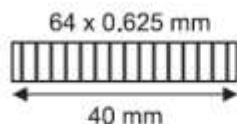


16cm

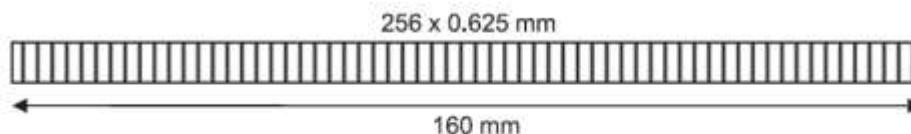


KONSTRUKCE DETEKTORU DLE PŘÍSTROJE

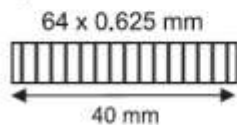
Optima 660, Revolution GSI & Revolution HD



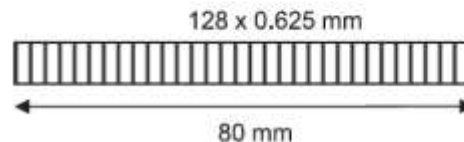
GE Revolution CT



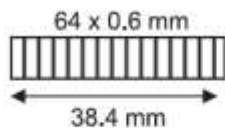
Philips Ingenuity & IQon



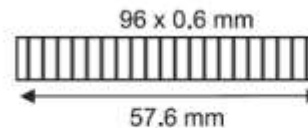
Philip iCT Elite



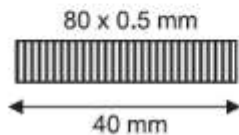
Siemens Somatom Definition Flash Stellar,
Definition Edge Stellar



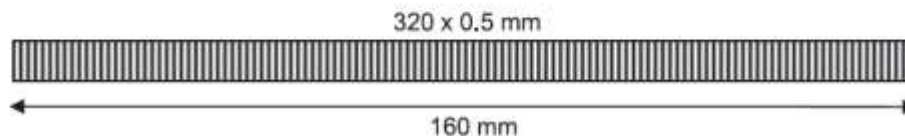
Siemens Somatom Force



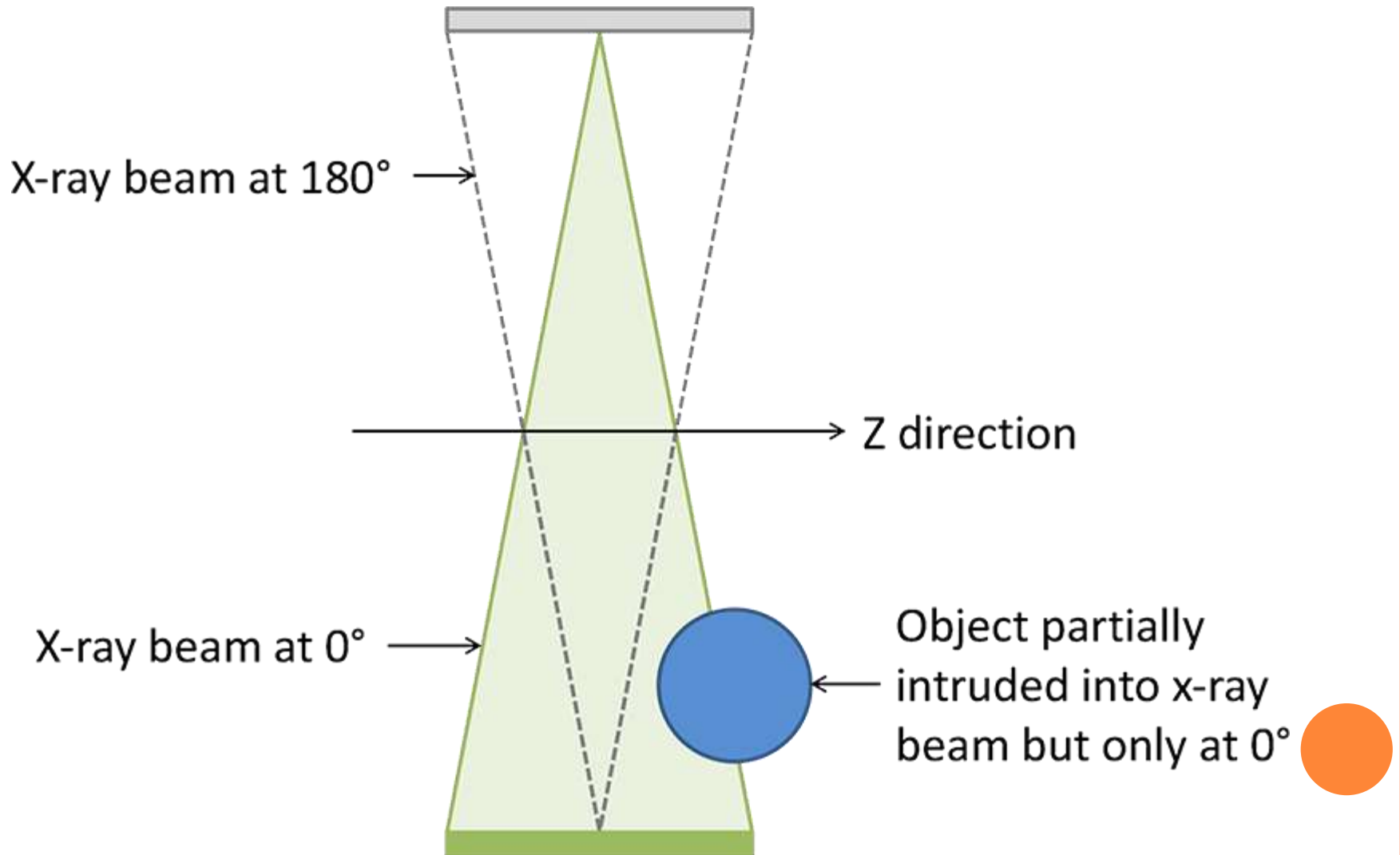
Toshiba Aquilion Prime



Toshiba Aquilion One & One Vision



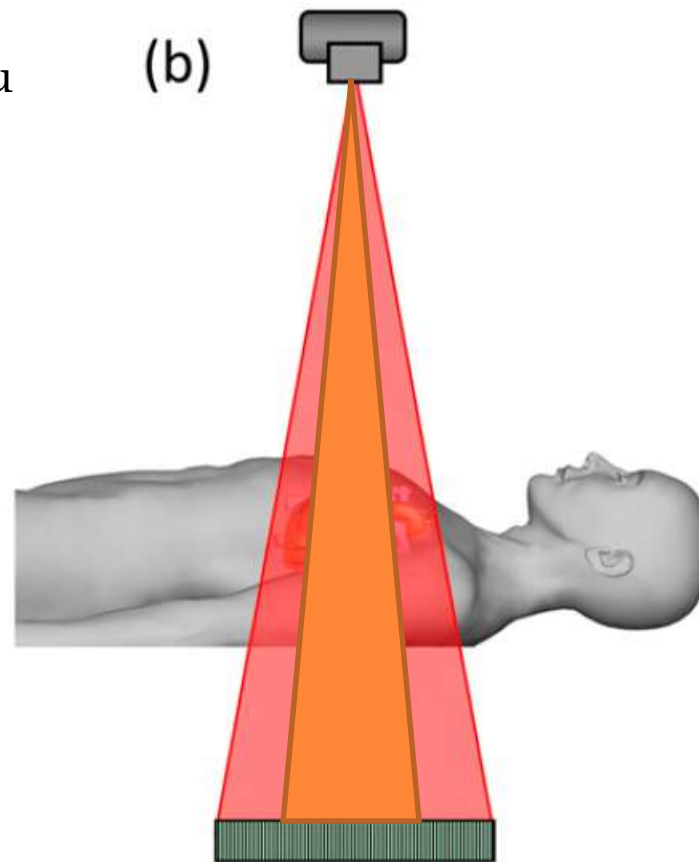
ČÍM ŠIRŠÍ DETEKTOR, TÍM VĚTŠÍ PROBLÉM S CONE BEAM ARTEFAKTY



HODNĚ ŠIROKÝ DETEKTOR LZE VYUŽÍT PŘI SEKVENČNÍM SKENOVÁNÍ, NE U SPIRÁLY

Kolimace svazku u sekvenčního scanu

Kolimace svazku u spirálního scanu



PROSTOROVÉ ROZLIŠENÍ

- U všech současných velkých výrobců CT strojů se pohybuje okolo 0,3 – 0,5 mm ve všech třech osách

RADIAČNÍ DÁVKA



From: **Estimated Radiation Dose Associated With Cardiac CT Angiography**

JAMA. 2009;301(5):500-507. doi:10.1001/jama.2009.54

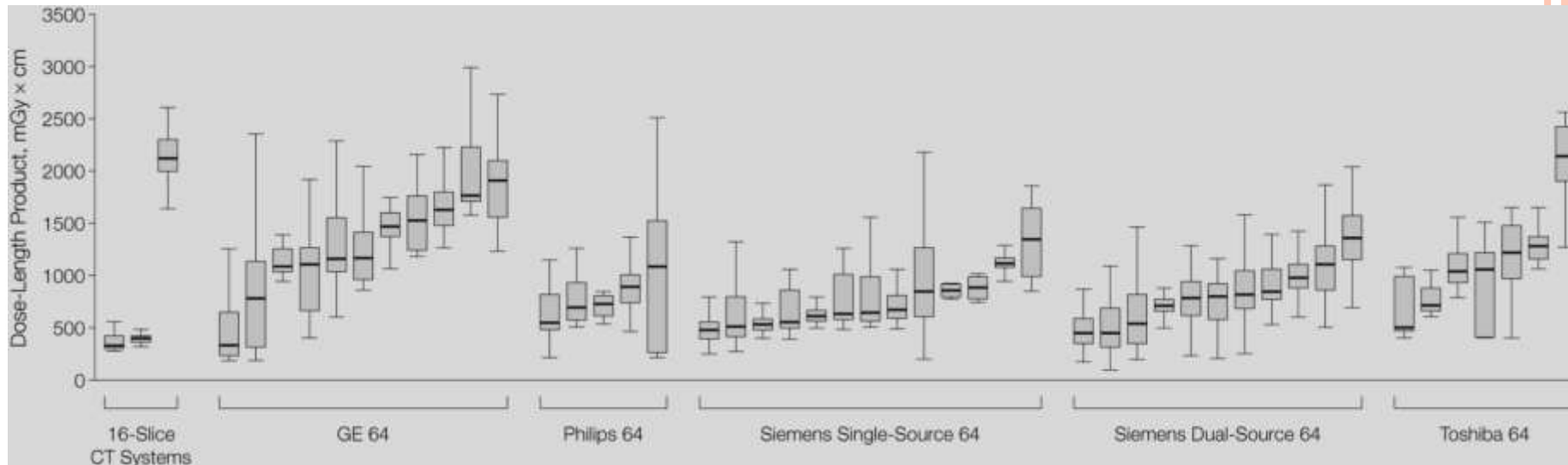


Figure Legend:

The height of the box displays interquartile range (IQR) with the 25th and 75th percentiles representing the lower and upper edges of the box, respectively. The middle horizontal line is the median. Error bars extend from the box to show the range of non-outlying data points (whiskers). The lower whisker represents the 25th percentile minus 1.5 times IQR and the upper whisker represents the 75th percentile plus 1.5 times IQR.

RADIAČNÍ DÁVKA

- Poměrně výrazně se liší na různých pracovištích, nesouvisí to s použitým CT scannerem
- STANDARDIZACE, REFERENČNÍ ÚROVNĚ
- Důležité je použití moderních technik pro snížení dávky
 - Iterativní rekonstrukce obrazu
 - EKG pulsing
 - Vysoce citlivé detektory



JAKÝ CT PŘÍSTROJ VYBRAT PRO VYŠETŘENÍ SRDCE?

- S nejlepším časovým rozlišením
- S nejlepším prostorovým rozlišením
- S nejširším detektorem
- S nejnižší radiační dávkou
- S nejvyšším výkonem generátoru (pokud chceme vyšetřovat i výrazně obézní pacient)



SROVNÁNÍ ZÁSADNÍCH PARAMETRŮ SOUČASNÝCH CT PŘÍSTROJŮ

Vendor	Scanner model	X-ray source — detector design	Number of detector rows	Detector element z-dimension (mm)	Total detector z-axis coverage (mm)	Minimum gantry rotation time (ms)	Intrinsic TR (ms)	X-ray generator power (kW)
GE Healthcare, Chalfont St Giles, UK	Optima 660	Single	64	0.625	40	350	175	72
	Revolution HD/GSI	Single	64	0.625	40	350	175	107
	Revolution CT	Single	256	0.625	160	280	140	103
Philips Healthcare, Guildford, UK	Ingenuity	Single	64	0.625	40	420	210	80
	iCT Elite	Single	128	0.625	80	270	135	120
	IQon Spectral CT	Single	64	0.625	40	270	135	120
Siemens Healthcare, Frimley, UK	Somatom Definition Edge Stellar	Single	64	0.6	38.4	280	142	100
	Somatom Definition Flash Stellar	Dual	64	0.6	38.4	280	75	2 × 100
	Somatom Force	Dual	96	0.6	57.6	250	66	2 × 120
Toshiba Medical Systems, Crawley, UK	Aquilion PRIME ^a	Single	80	0.5	40	350	175	72
	Aquilion ONE	Single	320	0.5	160	350	175	72
	Aquilion ONE Vision	Single	320	0.5	160	275	137	100



JAKÝ VYBRAT IDEÁLNÍ SCANNER PRO KARDIOCT ?

- **Dual-source přístroj (SIEMENS) s širokým detektorem pokrývajícím celé srdce (TOSHIBA, GE -16cm),**
- **S vysokým prostorovým rozlišením ve všech směrech a co nejnižší radiační dávkou (tady mezi výrobci není zásadnější rozdíl)**

- Dual source scanner (SIEMENS)
 - Vyšetří mnohem lépe „problematické pacienty“:
 - Tachykardie
 - Arytmie – hlavně fibrilace síní
 - Preferuje vyšetřování spirální technikou (což je problém u velmi širokých detektorů)
- Full heart coverage scanner (TOSHIBA, GE)
 - Vyšetření lépe „standardní pacienty“, výhoda náběru dat během jediné rotace
 - Preferujeme vyšetřování konvenční technikou - single shoot
- Poslední velký výrobce CT technologie (PHILIPS) – střední cesta
 - Single source scanner s šíří detektoru 8cm
 - Lze uspokojivě vyšetřovat spirálně i konvenčně



POTOM ZDE ALE MÁME JEŠTĚ JEDEN
ZÁSADNÍ PARAMETR VÝBĚRU

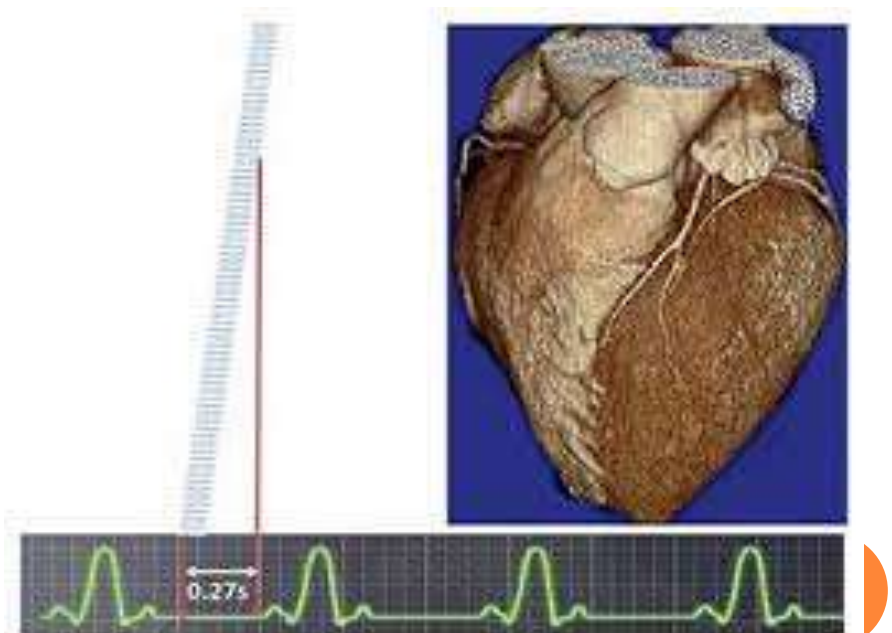
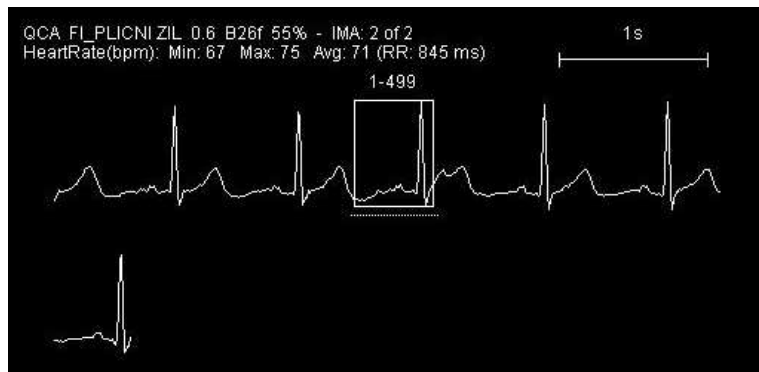


DĚKUJI ZA POZORNOST



FLASH SPIRAL – HIGH PITCH SPIRAL SCAN

- Rychlý posun stolu, dva zdroje – PITCH 3.2
 - Velmi nízká dávka (okolo 1-2 mSv)
 - Horší kvalita
 - Nutný pravidelný rytmus pod 60/min



PROBLÉM ČASOVÉHO ROZLIŠENÍ JAK DOCÍLIT NEROZHÝBANÝCH OBRÁZKŮ?

- Je nutno zobrazovat v době, kdy se srdce nepohybuje (pohybuje jen velmi málo)
- Abychom toto dokázali, je nutná synchronizace s EKG, dvě základní metodiky jsou:
 - prospektivní EKG triggering
 - retrospektivní EKG gating



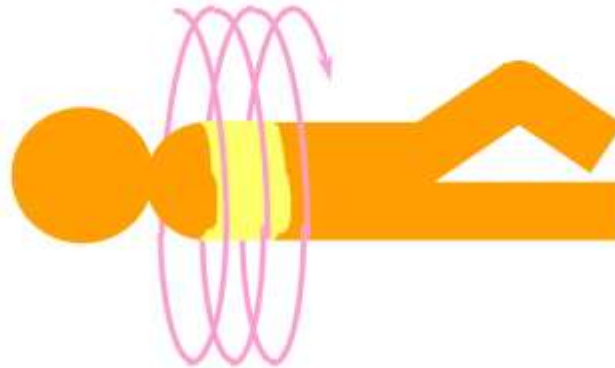
RETROSPEKTIVNÍ EKG GATING

- Spirální scan současně s koregistrací EKG, je nutné použít velmi nízký PITCH faktor pro náběr dostatečného množství dat.
 - Rekonstrukce lze zpětně provést v různých fázích srdečního cyklu
 - Zobrazení více fází = kinetické, funkční studie.
 - Vyšší radiální dávka (lze částečně snížit modulací proudu – ECG pulsing)

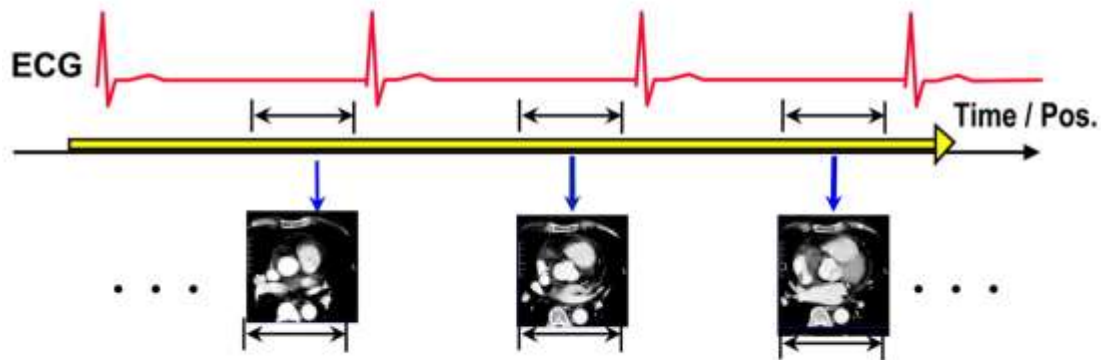


Retrospektivní EKG gating

Retrospective ECG Gating



Continuous recording of spiral scan and ECG →



Temporal Resolution 80 - 250 milliseconds
Radiation dose higher than prospective triggering

Mahesh M , and Cody D D Radiographics 2007;27:1495-1509

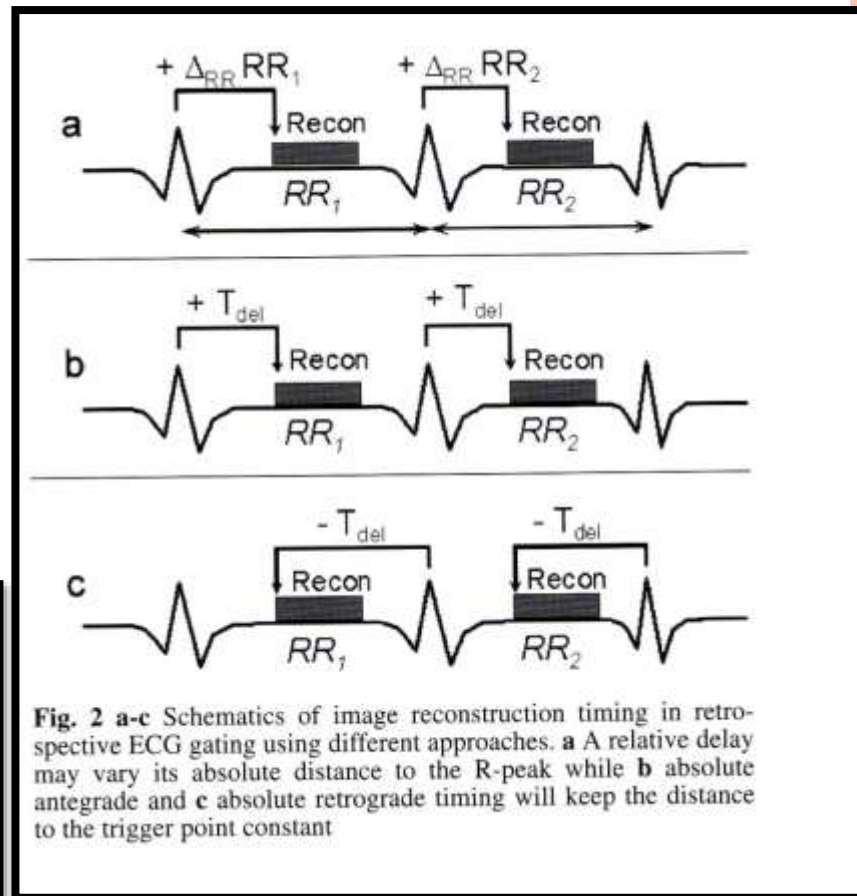
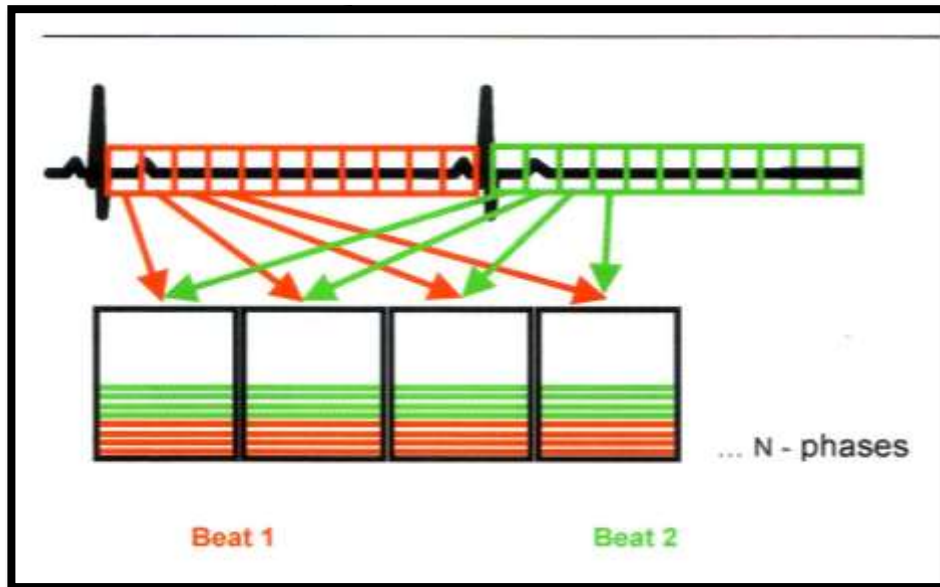
RadioGraphics



EKG SYNCHRONIZACE, RETROSPEKTIVNÍ GATING

Fázi rekonstrukce srdečního cyklu určujeme

- v % R-R intervalu
 - lze zadat rekonstrukci i např. 10 fází najednou - kinetika

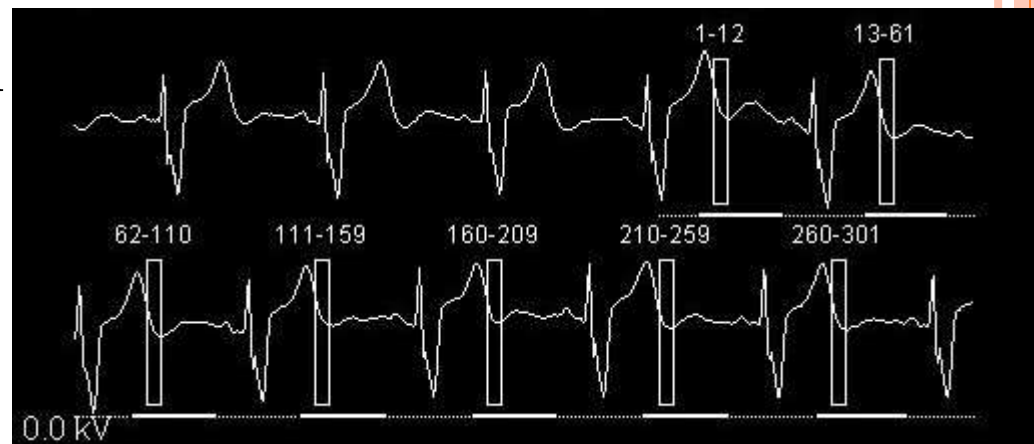
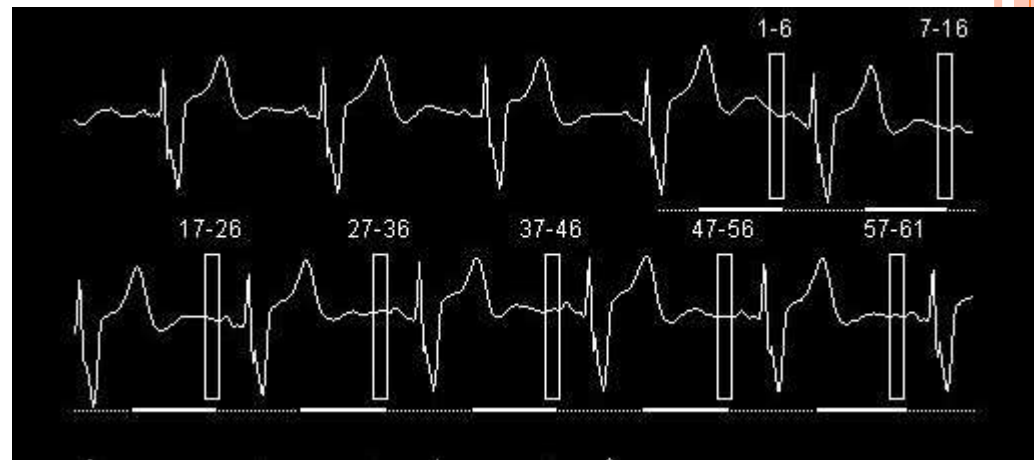


- v ms od R kmitu na EKG



SNÍŽENÍ DÁVKY ZÁŘENÍ PŘI RETROSPEKTIVNÍM EKG GATINGU

- EKG pulsing
 - Rentgenka pracuje naplno jen v určitém úseku R-R intervalu
 - Ve zbylém čase buď téměř nic, nebo jen např. na 20% výkonu
 - Zde nastaven EKG pulsing 30-70%



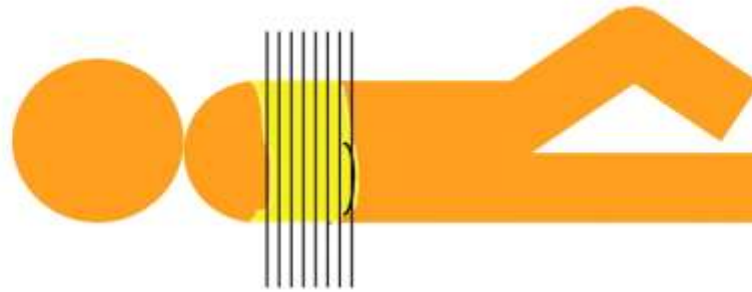
PROSPEKTIVNÍ EKG TRIGGERING

- Tzv. „step and shoot“ náběr dat – sekvenční scan (ne spirální).
 - + nižší radiční dávka
 - není možné zpětně editovat EKG a provést další rekonstrukce – máme jen jeden statický obrázek např. v diastole

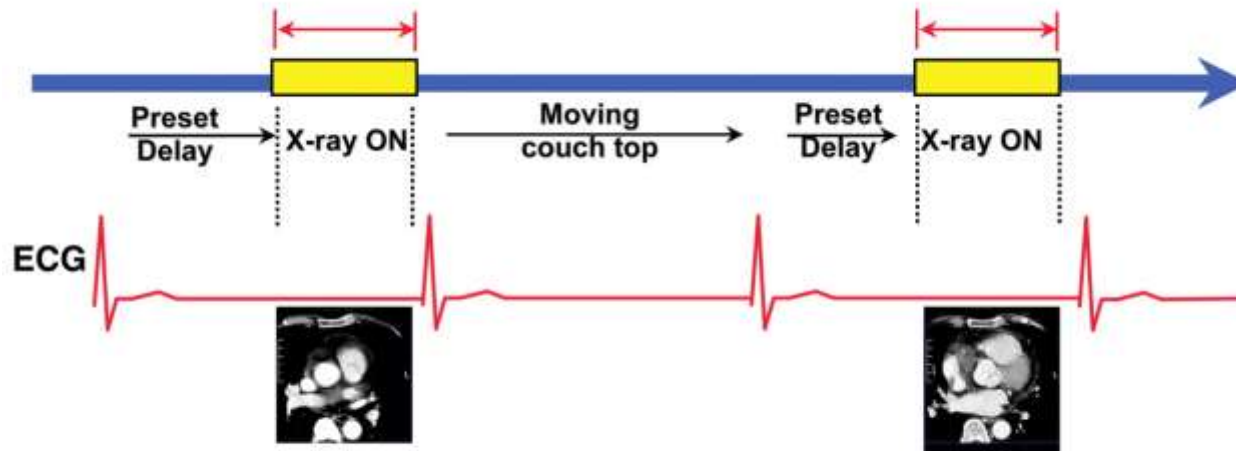


Prospektivní EKG triggering = konvenční skenování (step and shoot)

Prospective ECG Triggering

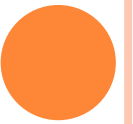


Conventional Axial "Partial Scan" (Step and Shoot)



Temporal resolution 200 – 250 msec
Radiation dose minimized
Limited data set





PODÁNÍ KONTRASTNÍ LÁTKY

- Tlakový injektor
- Flow alespoň 4ml/sec.
- Co nejvyšší koncentrace jodu (350-400 mgI/ml)
- Proplach fyziologickým roztokem

- Pokud chceme rozumnou náplň pravé komory, je vhodné podat cca jen $\frac{1}{2}$ množství kontrastu a poté druhou polovinu kontrastu ředěného s fyziologickým roztokem (1:1 – 1:2)



CT

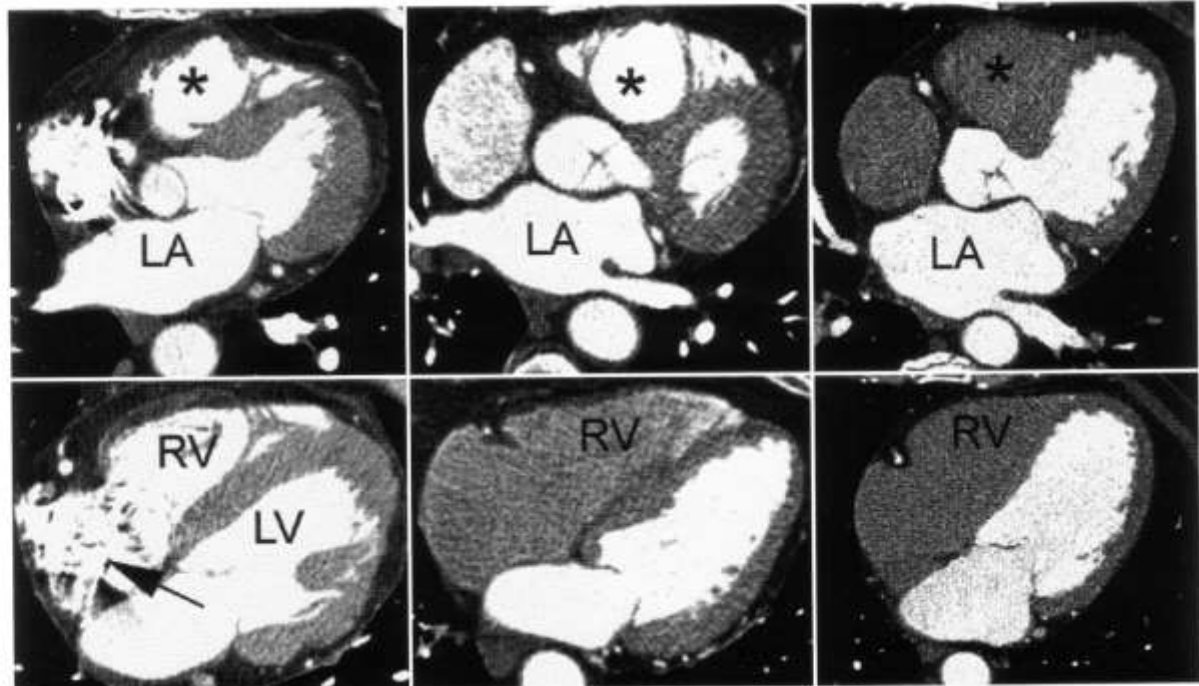
Srovnání kvality obrázků a náplně srdečních struktur z MDCT přístrojů

4

16

64

Fig. 7 Comparative images at different levels of the heart acquired with different scanner generations. *Left column* shows a 4DCT data set, *mid column* a 16DCT dataset and *right column* a 64DCT dataset. Note the marked reduction of artifacts, *arrow*) from the right atrium (RA) and right ventricle (RV). With 64DCT contrast within the whole right heart can be avoided using adequate scan protocols. * Right ventricular outflow tract (RVOT); LA left atrium



ČASOVÁNÍ NÁSTRÍKU

- Rychlé vyšetření umožňují snížit množství kontrastu (např. až na 60ml při flow 5ml/sec.)
- Správné načasování je ale mnohem důležitější.
 - Bolus tracking
 - Automatické spuštění scanu při dosažení určité kontrastní náplně dané tepny (např. asc. aorty)
 - U některých strojů je pauza až několik sekund než se rozběhne vlastní vyšetření – to je u krátkých bolusů kontrastu problém
 - Bolus timing
 - Zkušební nástřik menšího množství kontrastu a zjištění zpoždění, kdy spustit vyšetření.
 - Celková dávka kontrastu je vyšší
 - Cirkulační čas se může měnit (arytmie...) a načasování pak není přesné

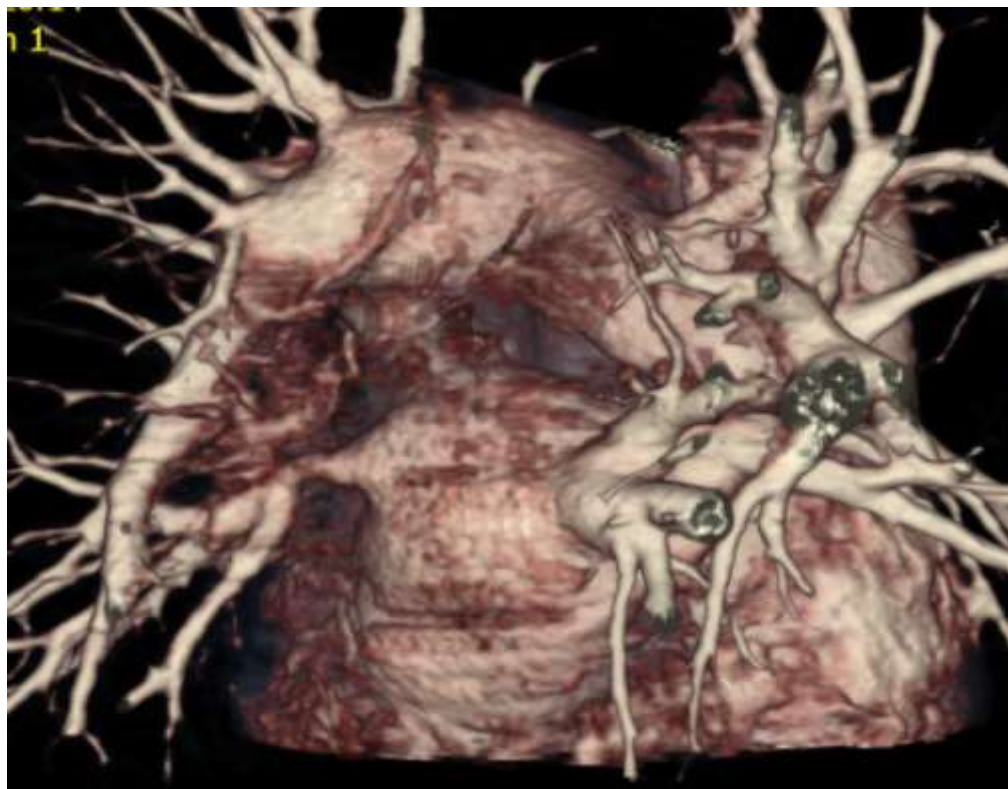


RADIAČNÍ DÁVKA PŘI CT SRDCE

- Dříve u retrospektivního gatingu byla běžná dávka okolo 12-15 mSv
- Nyní se při použití EKG pulsingu dostáváme na 5-7 mSv
- Při použití prospektivního EKG triggeringu jen okolo 3-4 mSv
 - To je srovnatelné s katetrizační koronarografií
- Iterativní rekonstrukce a prospektivní triggering vedou ke snížení dávky i pod 1mSv
 - Musí být pravidelný rytmus a relativně štíhlý pacient



POKROK NEZASTAVÍŠ



16 řad detektorů
Retrospektivní EKG gating
2003
Doba scanu 25 sec.
Radiační dávka cca 15 mSv



2x128 řad detektorů
Flash spiral prospektivní EKG triggering
2010
Doba scanu 0,6 sec
Radiační dávka cca 2mSv

SHRNUTÍ – CO SI PAMATOVAT

- EKG synchronizace
 - Retrospektivní (vyšší dávka, lze kinetika)
 - kvalitu zobrazení lze ještě ex post vylepšit editací EKG
 - Prospektivní (nižší dávka)
- U vysokých frekvencí a u arytmií zobrazovat v systole.

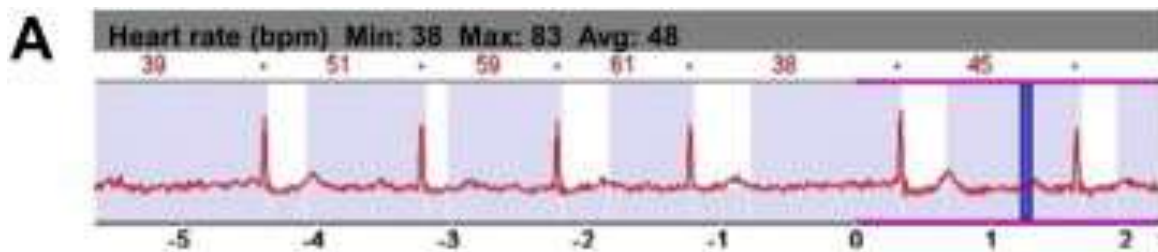


DALŠÍ VYLEPŠENÍ – ADAPTIVNÍ SCAN

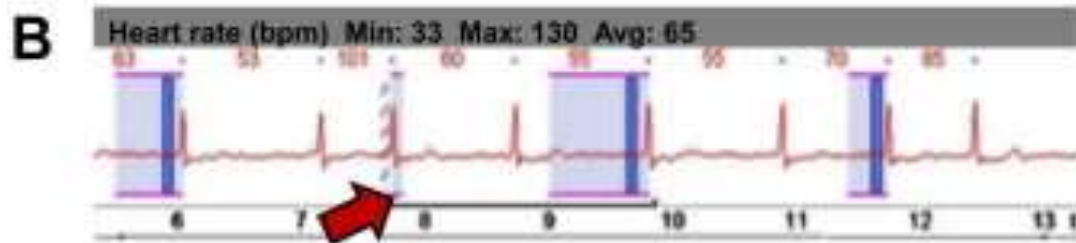
Systém vynechá expozici v případě extrasystoly a počká na další srdeční stah.

Zachráníte kvalitu zobrazení

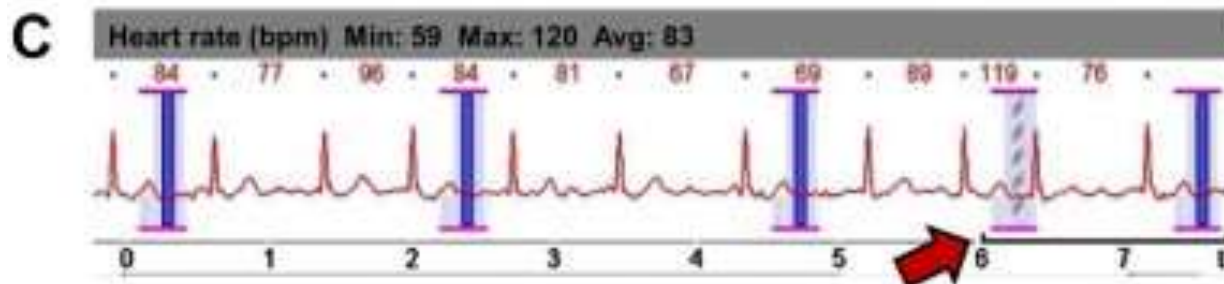
V případě několika extrasystol během scanování může utéct kontrast



Retrospective
ECG-gating



Prospective Triggering,
Adaptive Diastolic



Prospective Triggering,
Adaptive Systolic

Manufacturer/scanner	128-slice CT				256-slice CT				320-slice CT				
	Number of detector rows	Number of acquired slices	Maximum gantry rotation speed	Effective maximum temporal resolution	Number of detector rows	Number of acquired slices	Maximum gantry rotation speed	Effective maximum temporal resolution	Number of detector rows	Number of acquired slices	Maximum gantry rotation speed	Effective maximum temporal resolution	
GE Healthcare (Waukesha, WI)	2×64×0.625 ^a	128	350 ms	44 ms									
Philips Healthcare (Best, Netherlands)	128×0.625	128	270 ms	135 ms	2×128×0.625 ^b	256	270 ms	135 ms					
Siemens Healthcare (Erlangen, Germany) Definition AS	64×0.6 ^c	128	300 ms	150 ms/75 ms									
Siemens Definition Flash	2×64×0.6 ^d	2×128	280 ms	75 ms/37.5 ms									
	2×64×0.6 ^e	2×128	280 ms	75 ms									
	2×64×0.6 ^f	2×128	280 ms	75 ms									
Toshiba Medical Systems (Tochigi, Japan)	128×0.5	128	500 ms	250 ms	256×0.5	256	500 ms	250 ms	320×0.5	320	350 ms	175 ms	

