

„Amit tudni akarsz az MR-ről...”

Mediworld – Bajcsy-Zsilinszky Kórház, 2014. május 9.

MR-angiográfia: technikák, diagnosztikus érték, nehézségek

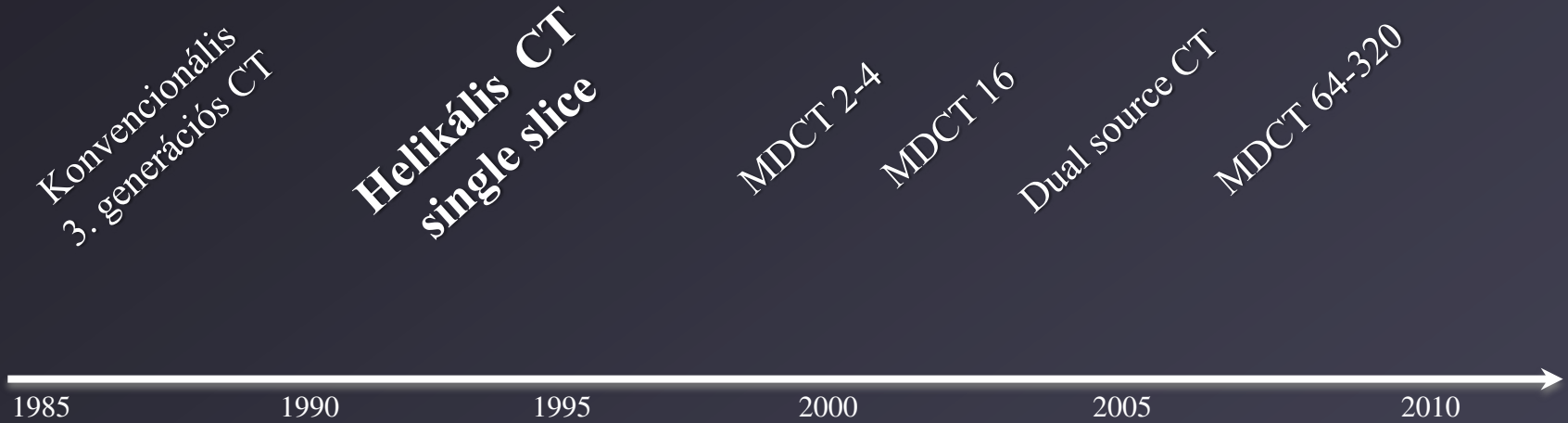
Balázs György

Semmelweis Egyetem
Városmajori Szív-
és Érgyógyászati Klinika



CT és MR technológia fejlődése

CT



MR



Hardware & software

- ◆ A cardiovascularis módszerek lehetőleg magas teljesítményű berendezést kívánnak
 - » Magas térerő: 1.5-3T
 - » Erős gradiens, magas slew rate
 - » Paralell imaging
 - » Dedikált felületi és phased array tekercsek
 - » EKG-vezérlés
 - » Kiértékelő programok
- ◆ Amire szükség van
 - » Gyors akvizíció
 - » Magas térbeli felbontás
 - » Blood pool kontrasztanyagok

Vascularis MR technikák

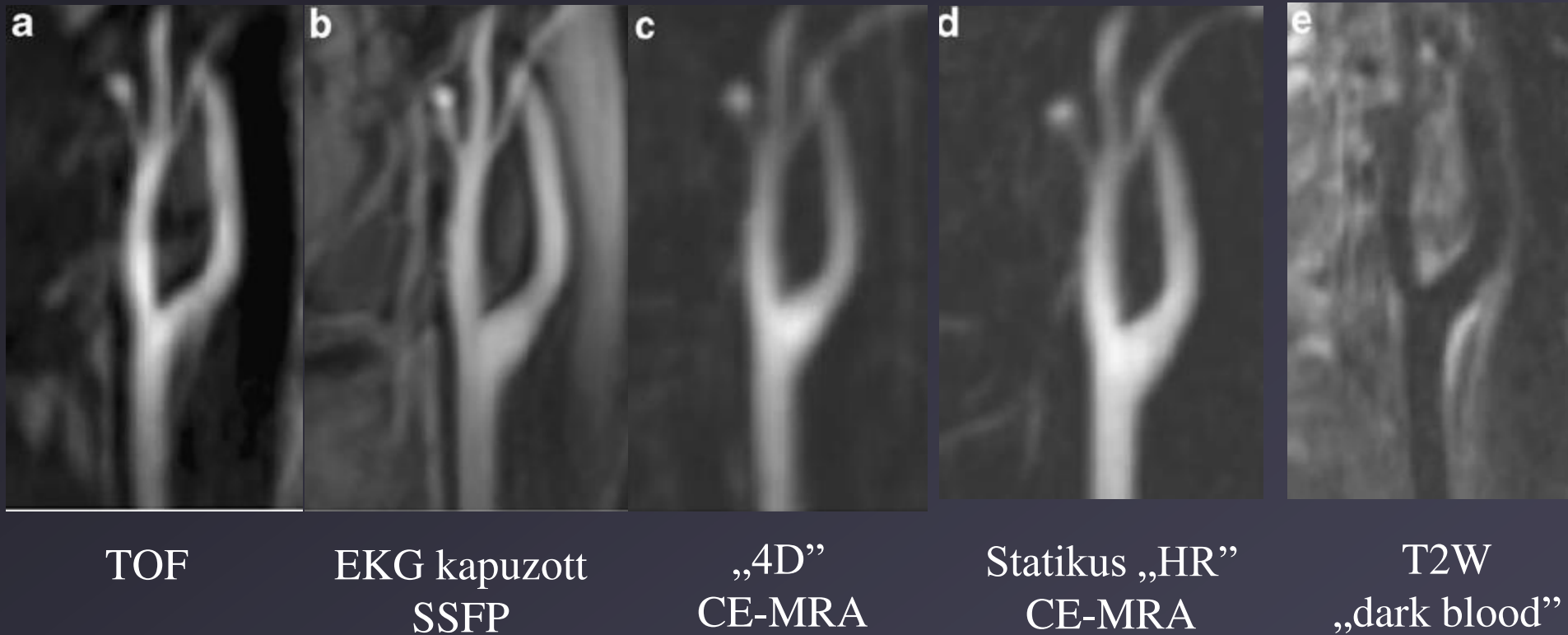
◆ Natív

- » „Black blood” spin echo
- » Time of Flight (TOF)
- » Fáziskontraszt (phase contrast, PC)
- » Steady State Free Precession (bSSFP)
- » Susceptibility weighted (SWI)

◆ Kontrasztanyagok

- » 3D
- » „4D” dinamikus
- » Blood pool kontrasztanyagok

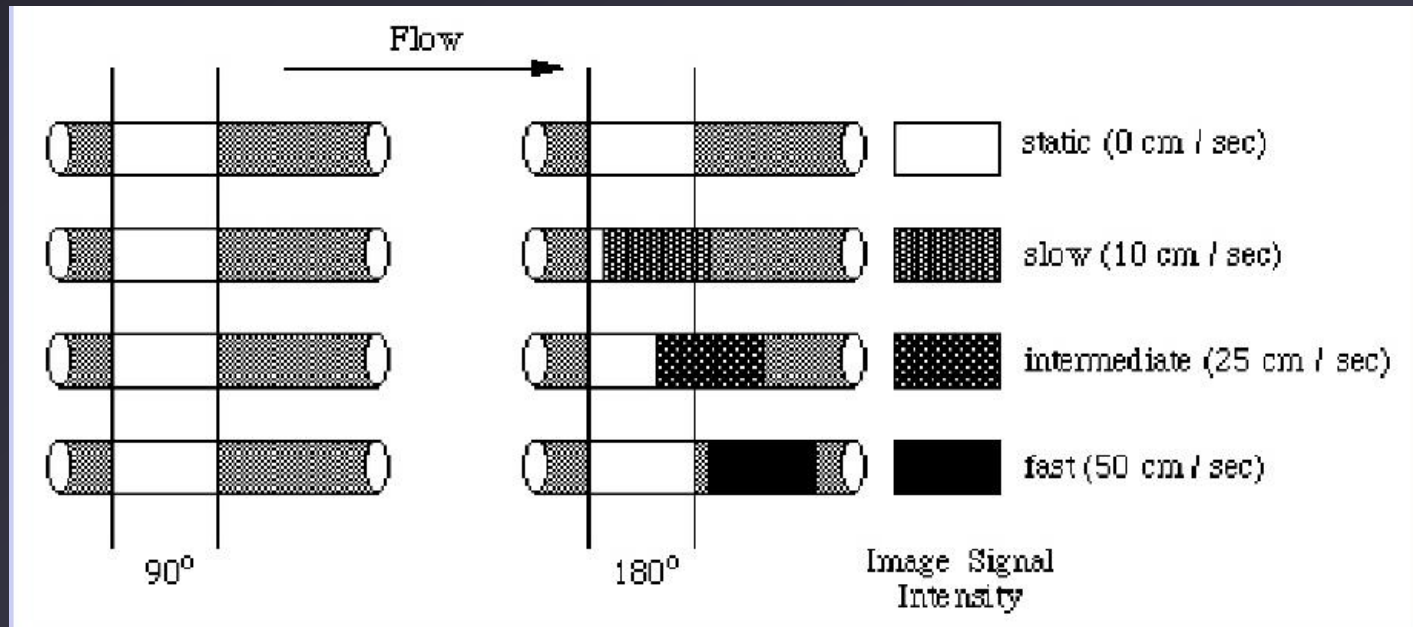
Gyakoribb MRA technikák



Kramer et al. Magnetic resonance angiography of the carotid arteries: comparison of unenhanced and contrast enhanced techniques Eur Radiol (2011) 21:1667–1676

Black blood spin echo imaging

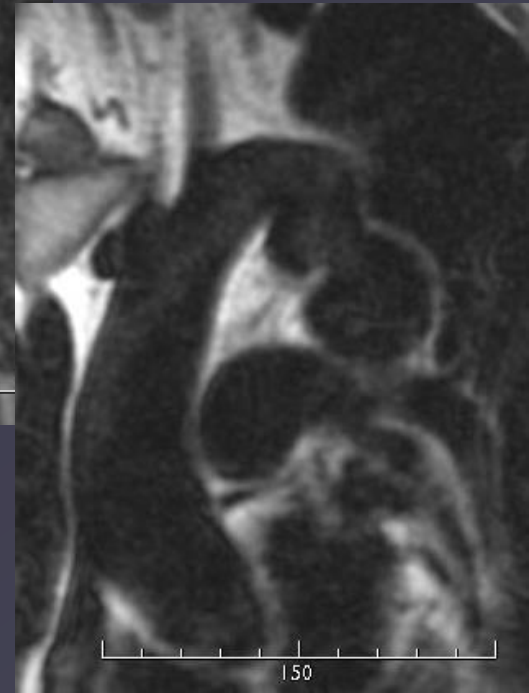
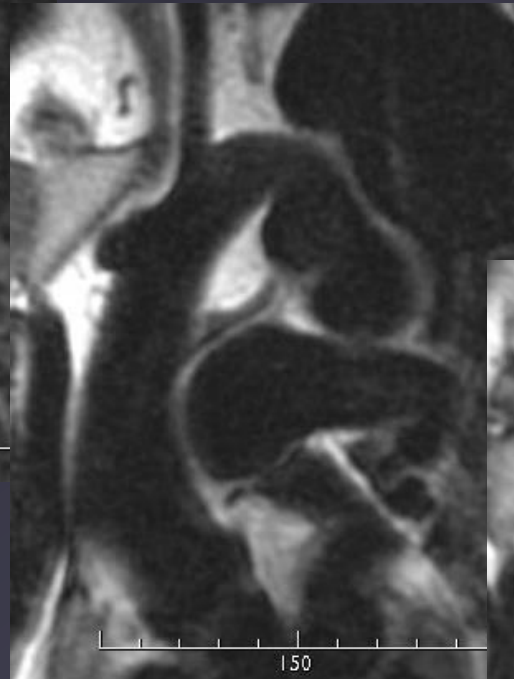
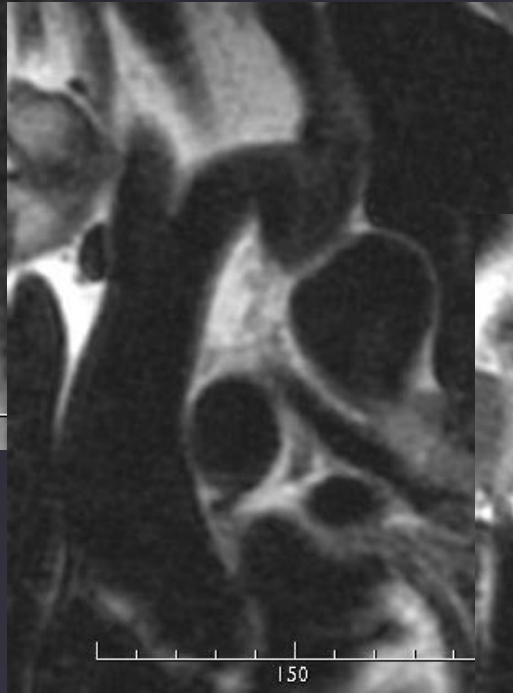
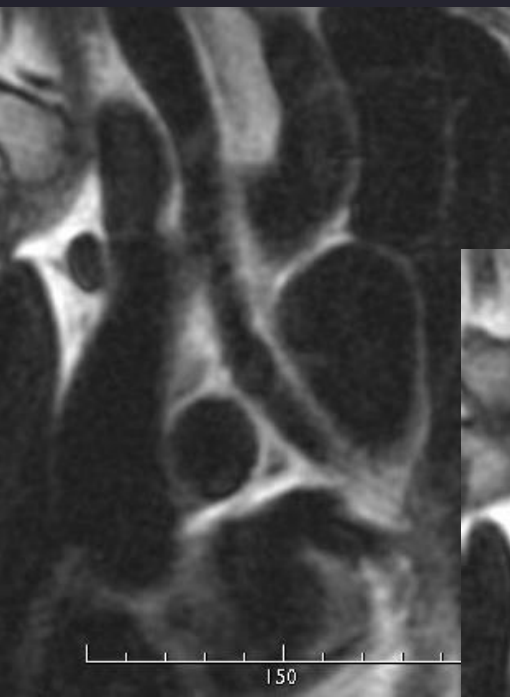
- ◆ Time of Flight „outflow” hatás: csak azok a protonok képeznek echót, melyek a 90° -os és 180° -os refókuszáló RF impulzus alatt is a szeletben tartózkodnak. $V > 25$ cm/sec esetén a protonok egyre nagyobb része a 180° -os impulzus időpontjára már elhagyja a szeletet.



- ◆ Jelvesztés mértéke függ: szeletvastagság, TE, áramlással bezárt szög

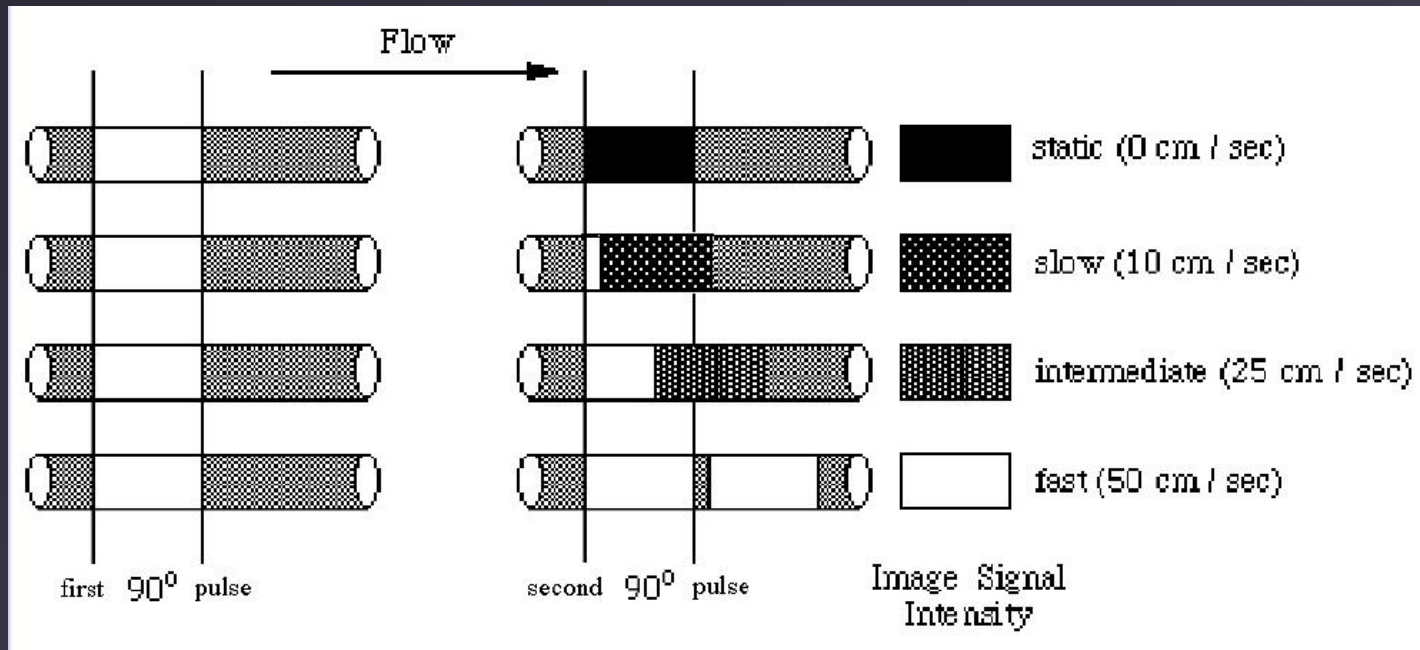
Coarctatio aortae postoperatív állapot

EKG-vezérelt MRI - T1W „black blood”
parasagittalis sorozatmetszet



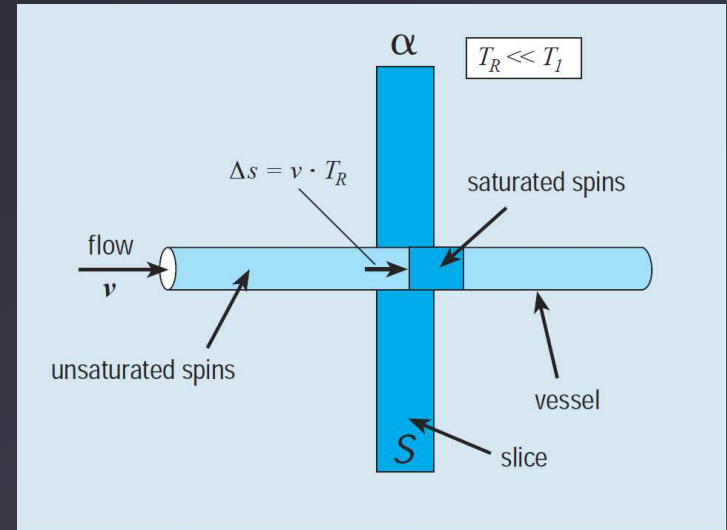
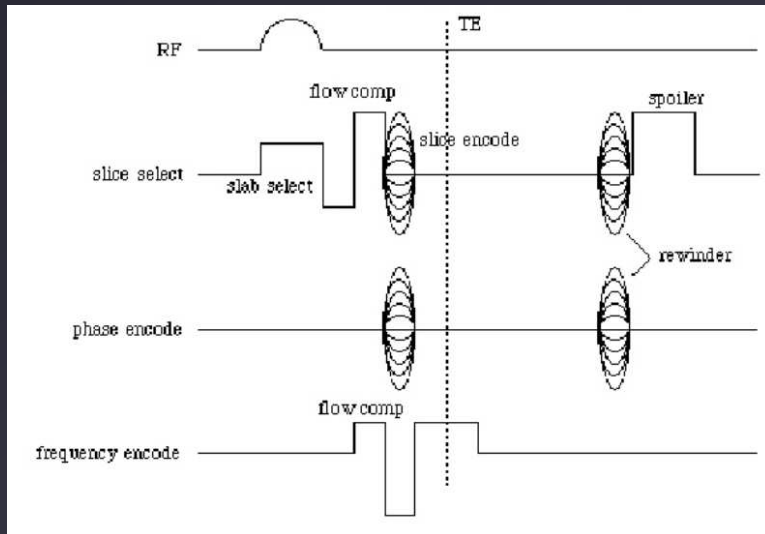
Bright blood imaging

- „Inflow hatás”: Rövid repetíciós idő mellett a stacioner szövetek szaturálódnak, és csak a metszési síkba érkező szaturálatlan vér protonjai adnak jelet: „flow-related enhancement”

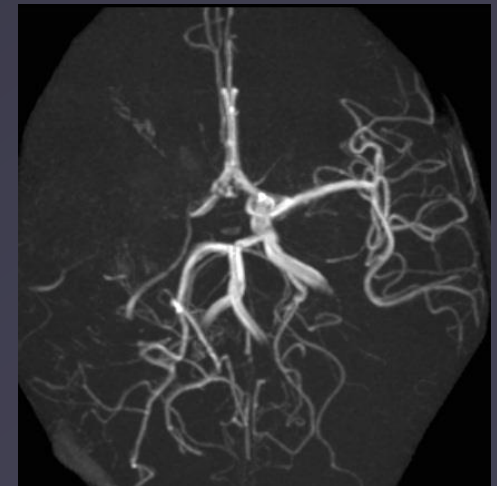


Time of Flight (TOF) MRA

- ◆ Rövid TR/TE spoiled gradiens echo
- ◆ „Flow compensation” gradiens
- ◆ A szelet síkjára merőlegesen érkező magas sebességű áramlás magas jelet ad



- ◆ Fő alkalmazás: intracranialis artériák



2D TOF

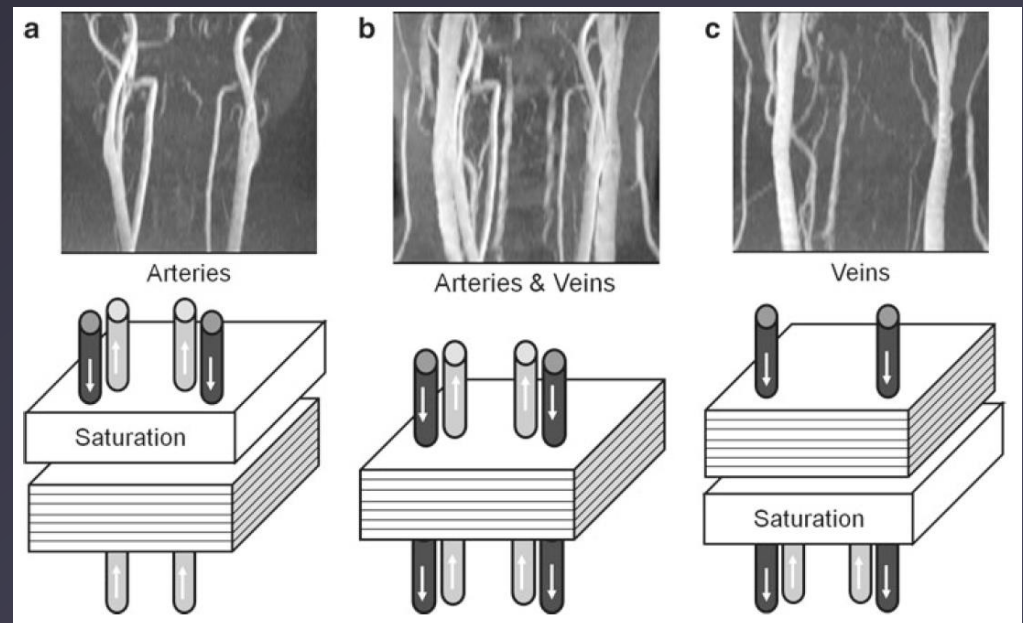
◆ Szeletenként excitáció + kiolvasás

- » Szeletvastagság: 1.5-2 mm
- » TR: 20-30 ms, TE: .. ms, flip angle 50-70°
- » Hosszabb mérés, kevésbé sima kontúrok
- » +/- EKG triggering – systolében magasabb sebesség → jel ↑

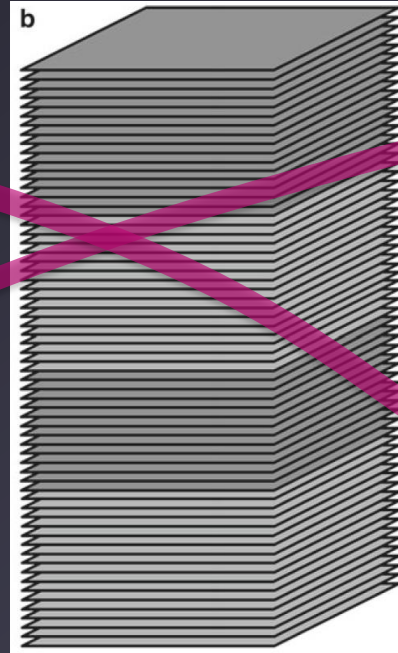
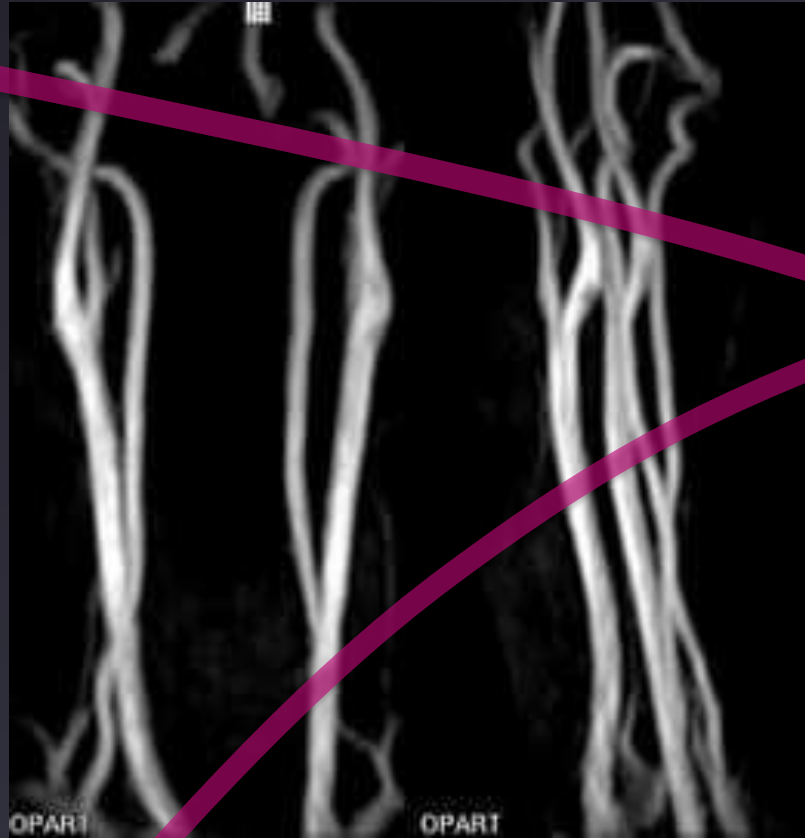
◆ Szaturációs sáv a nemkívánatos áramlási jel eliminálására

- » Vénás jelet
- » Artériákat

◆ „Csúszó” szaturáció



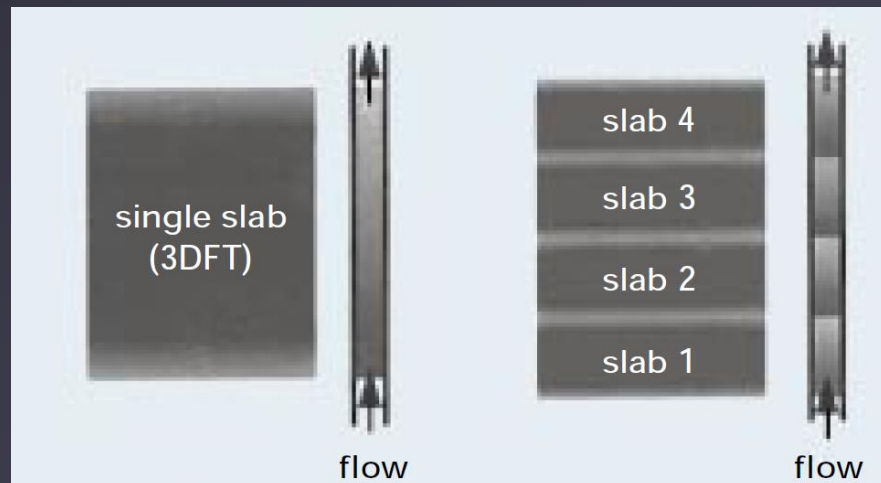
2D TOF MRA alkalmazásai



3D TOF

- ◆ Volumen excitáció és kiolvasás
 - » Vékonyabb partíció : 0.6 - 1 mm
 - Finomabb térbeli felbontás, simább kontúrok
 - Kevesebb intravoxel dephasing
 - » Alacsonyabb flip angle: 30°
 - » Magasabb SNR
 - » Rövidebb mérési idő: pl Willis kör kb. 4-6 perc
 - » Térbeli (véna) preszaturáció kevésbé effektív

- ◆ Típusai:



TOF hatásfokát javító technikák

- ◆ Magnetisation Transfer (MT)
 - » Javítja a háttér szignál elnyomást
- ◆ Out of phase TE választása – zsír szignál minimalizálás
 - » Pl.: $TE = 6.9 \text{ ms}$ (1.5T)
 - » De! a legmagasabb flow szignál minimális TE mellett várható
- ◆ „Ramped RF pulse” (TONE: tilted optimized nonsaturating excitation)
 - » Flip angle nő a 3D slab distalis particiói felé haladva, ezzel csökkentve az in-slab szaturáció hatását
- ◆ Multiple Overlapping Thin 3D Slab Acquisition (MOTSA)
 - » In-slab szaturáció minimalizálása
- ◆ És persze:
 - » Magasabb térerő
 - » Magasabb gradiens amplitudo
 - » Parallel imaging technikák

TOF MRA korlátai

◆ Hosszú adatgyűjtés

- » Csak stabilan beállítható testrész: koponya, végtag vizsgálható
- » Légzés, perisztaltika, erős pulzáció mellett nem lehetséges

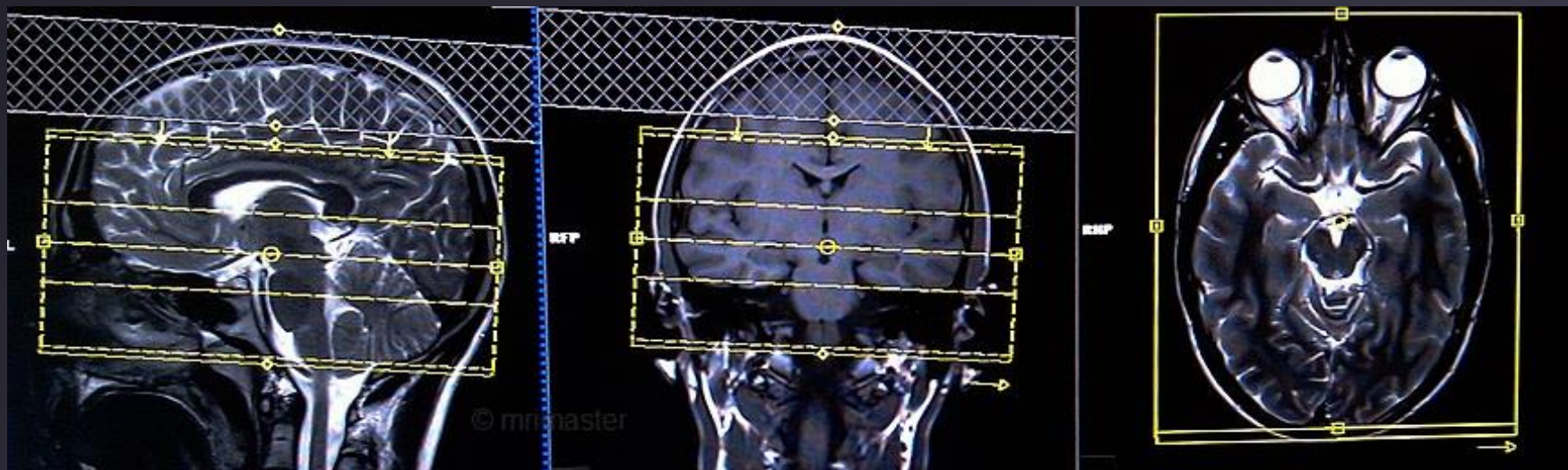
◆ Áramlási műtermékek

- » Kiszámítható jelet a síkra merőlegesen haladó gyors lamináris áramlás ad
- » Szaturációs hatások
 - In-plane (*műtermékes carotis syphon*)
 - In-slab
- » Irregularis áramlás hatása nehezen kiszámítható
 - Lassú áramlás aneurysmákban (*méret alulbecslése*)
 - Turbulens áramlás stenosisban (*stenosis túlbecslése*)
 - Lassú áramlás post-stenoticusan (*pseuo-occlusio*)

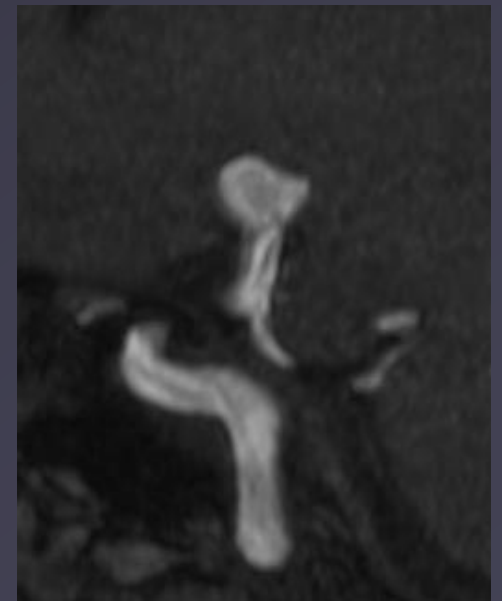
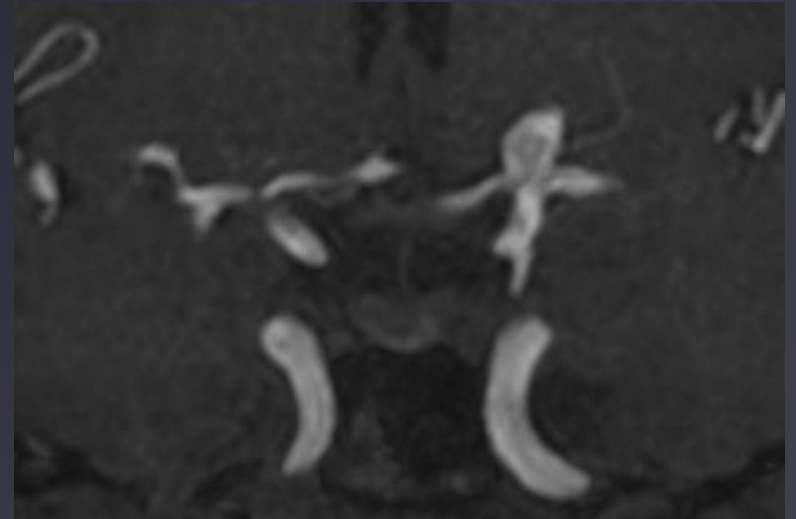
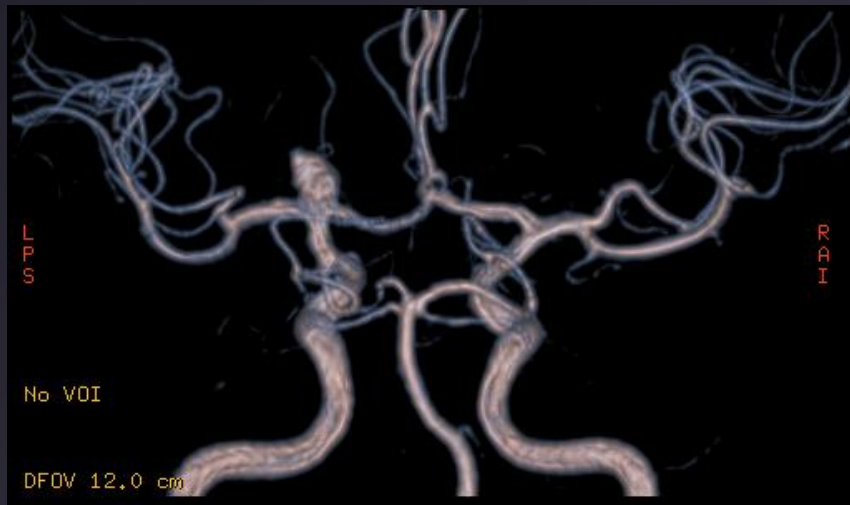
➔ Jó negatív prediktív érték

➔ Kóros lelet kritikusan értékelendő

Koponya 3D TOF MRA beállítása és indikációja

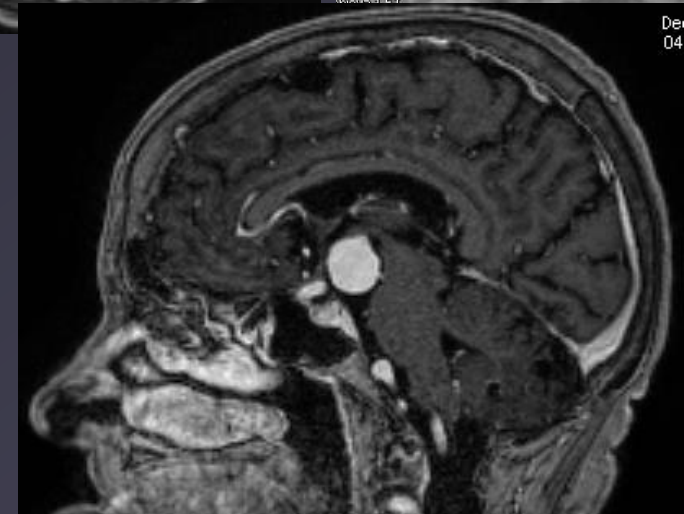
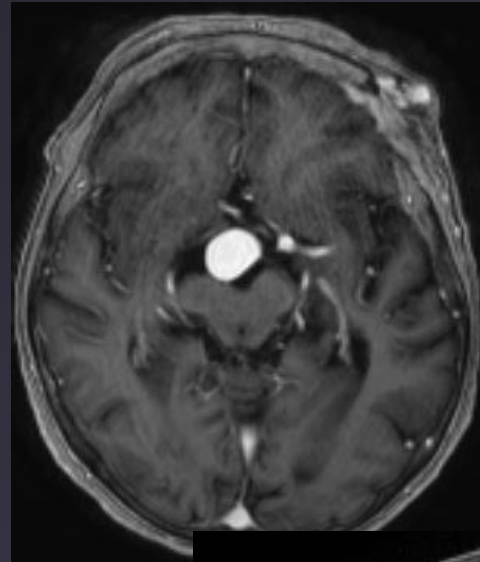
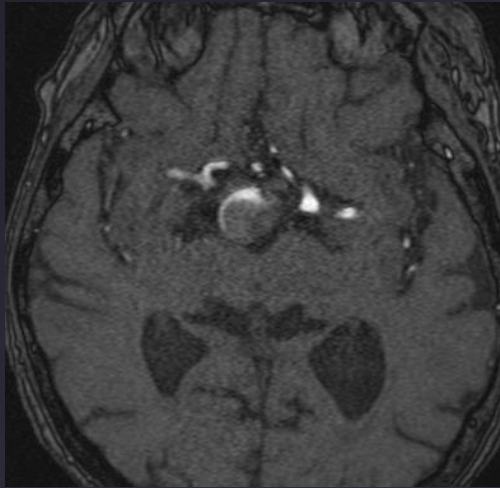


- ◆ Intracranialis artériák – Willis kör ábrázolása
- ◆ Rutin koponya MRI kiegészítése
 - » Aneurysma klinikai ganúja (pl. komplikált migrain)
 - » Cerebrovascularis betegség
 - » Atherosclerosis
 - » Vasculitis
 - » Térfoglaló folyamat - másodlagos vascularis érintettség / dislocatio ?



TOF MRA hibaforrása: alacsony áramlási sebesség

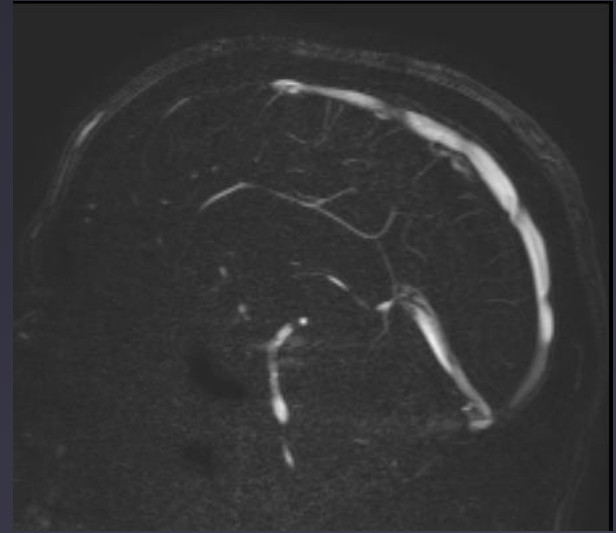
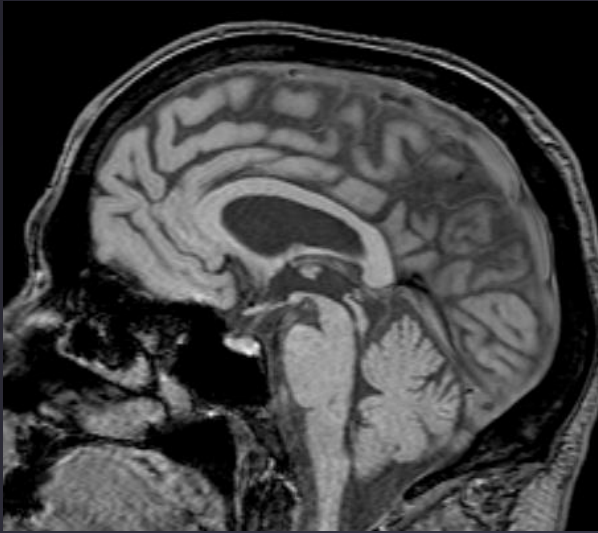
TOF



+ Gd

- ◆ Nagy „berry” aneurysmában a lassú keringés miatti jelcsökkenés a méret alulbecslésének veszélyével jár

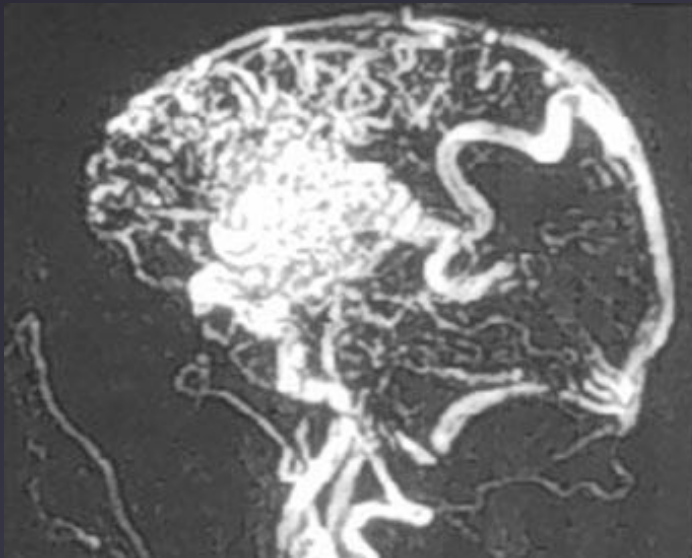
Fáziskontraszt – Phase contrast (PC) MRA



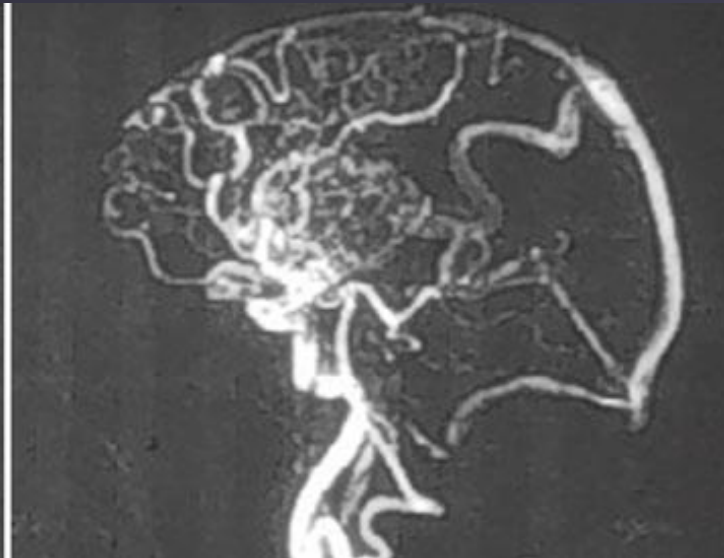
- ◆ Az áramlás (irányától és sebességétől függő mértékben) megváltoztatja a precesszáló protonok fázisát ($\sim$ *Doppler*)
 - » Keringés iránya
 - » Áramlási sebesség meghatározható

PC MRA optimalizálása

- ◆ A ábrázolni kívánt sebesség tartomány megadása
- ◆ V_{enc} = velocity encoding – maximális áramlási sebesség érték
- ◆ Túl magas V_{enc} → alacsony sebességre nem érzékeny
- ◆ Túl alacsony V_{enc} → aliasing (lsd. Doppler)

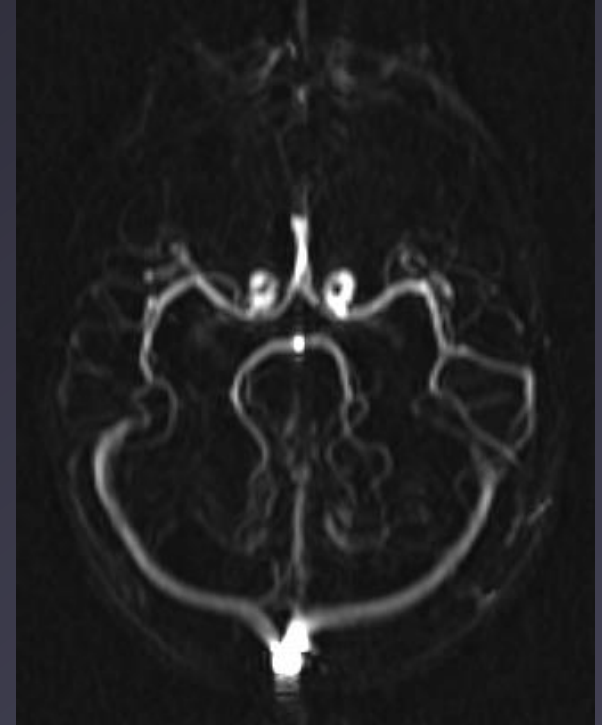
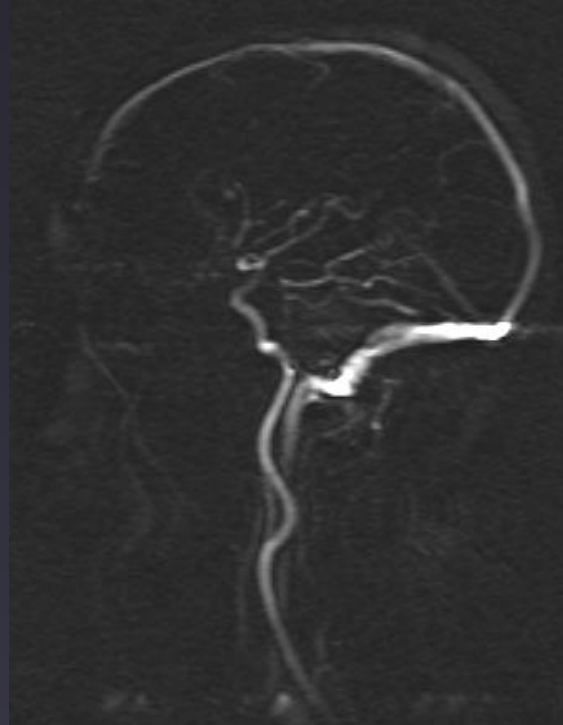
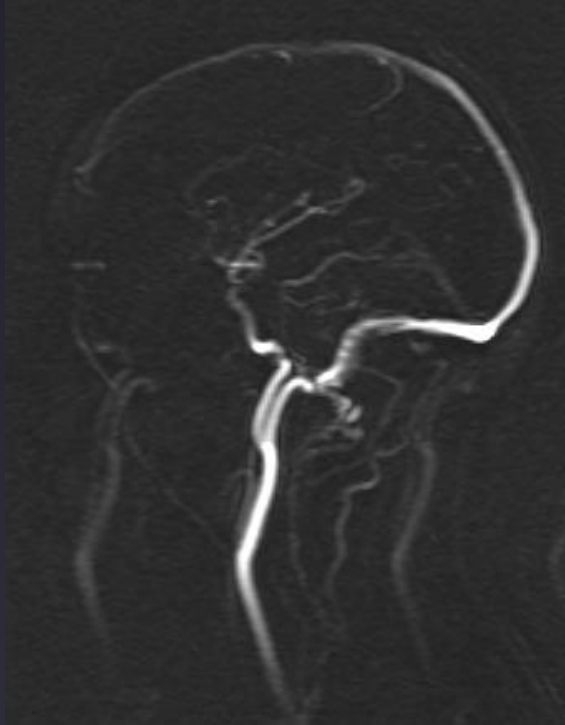


$V_{\text{enc}} = 20 \text{ cm/s}$



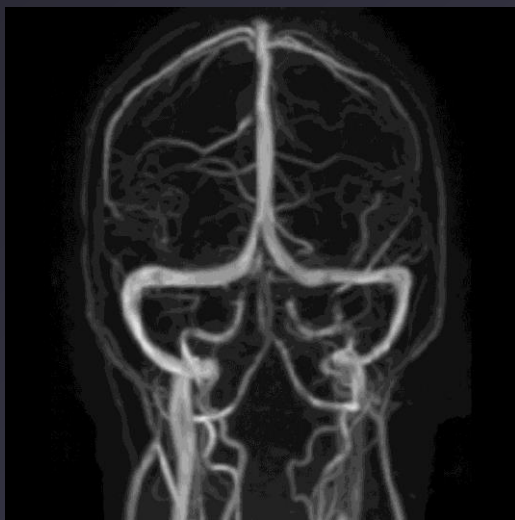
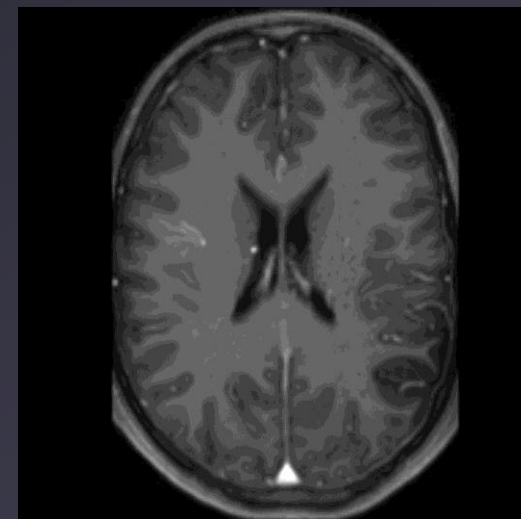
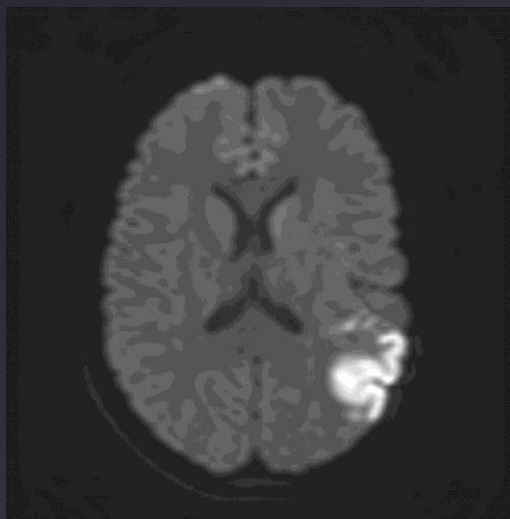
$V_{\text{enc}} = 80 \text{ cm/s}$

PC egyszerű alkalmazása: scout



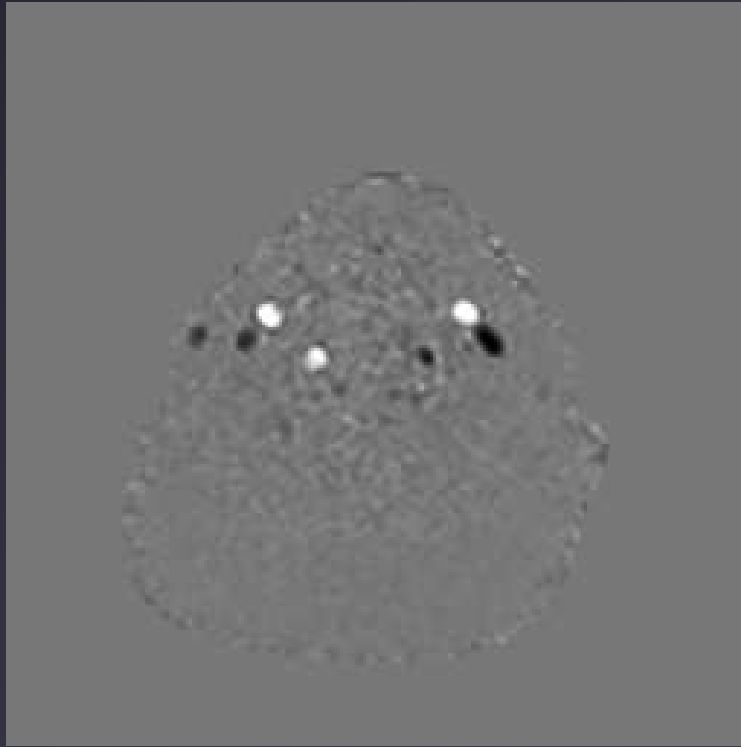
- ◆ 2D vastagszeletes ~ 30 mm
- ◆ 1 percen belüli akvizíciós idő
- ◆ Tájékoztató felvétel TOF vagy CE-MRA beállításához

PC intracranialis alkalmazása: vénás rendszer



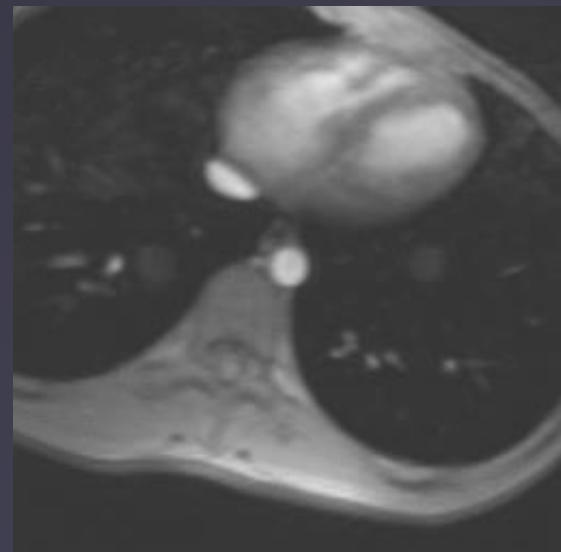
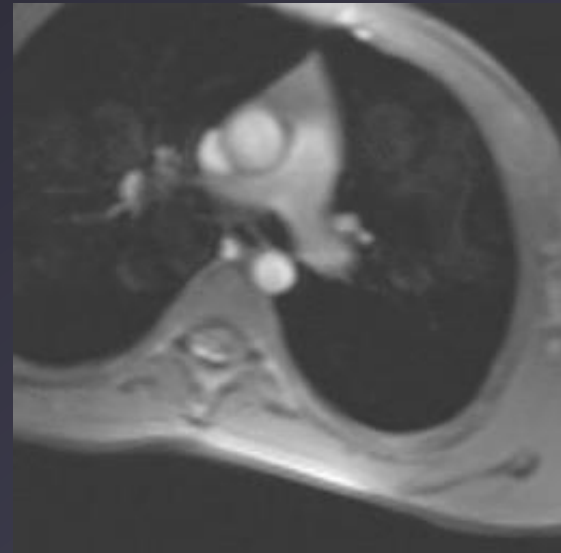
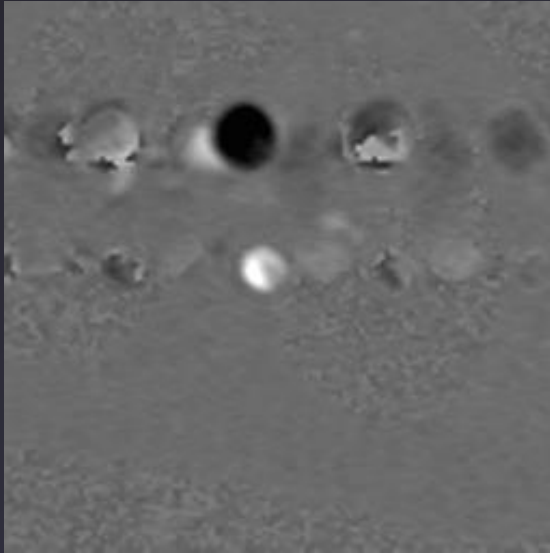
◆ Sinus thrombosis gyanúja esetén

PC komplex alkalmazása: haemodynamikai analízis

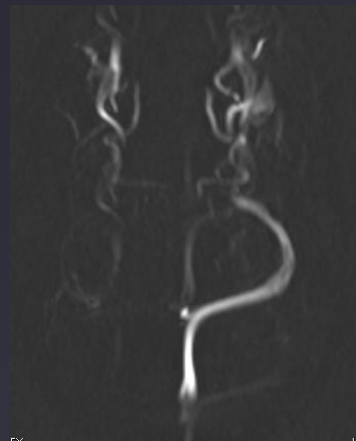
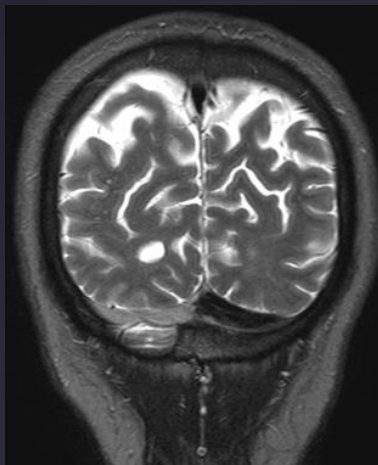


- ◆ Subclavian steal-ben áramlási irány meghatározás
 - » Cephalad flow – fehér jel
 - » Retrográd pulzatis flow - fekete

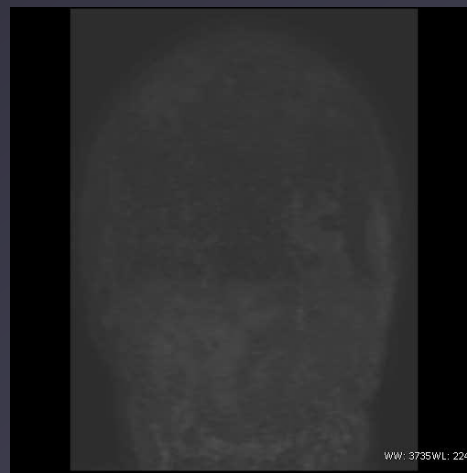
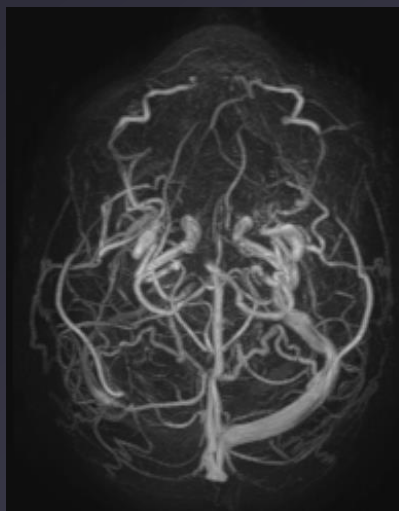
Differenciált flow mérés coarctatioban: proximalis/distalis: 1,00



PC hibalehetőségei



Sinus thrombosis
gyanúja



Vénás PCA: pseudoocclusio

4D CE-MRA:
fiziológias aszimmetria

Kontrasztanyag 3D MR angiográfia (CE-MRA)

- ◆ A paramágneses Gadolinium a T1 relaxációs időt csökkenti
- ◆ Extrém T1 súlyozott felvételen szinte csak a Gd ad jelet
- ◆ CE-MRA technika:
 - » Dinamikus intravénás kontrasztanyag adás injektorral
 - » Keringési fázishoz optimalizált késleltetés
 - » Extrém T1 súlyozott 3D gradients echo mérés a kontrasztanyag első áthaladása („first pass”) közben

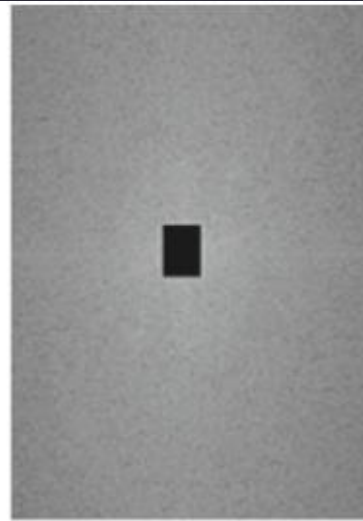
Kontrasztanyag 3D MR angiográfia (CE-MRA)

- ◆ Spoiled gradients echo / FLASH / TFE
- ◆ Minimális TR / TE
- ◆ Mellkas-has vizsgálatok légzésvisszatartásnyi akvizíciós időt igényelnek : kompromisszumos térbeli felbontás pl: 1.5 x 1.5 x 2 mm
- ◆ Kontrasztanyag bólus rövidebb, mint az akvizíciós idő, mégis a felvétel tisztán artériás fázisú lehet :
 - » Centrikus k-tér kiolvasás – a magas kontraszt információt hordozó adatok az első néhány másodperc alatt kiolvasásra kerülnek, ezután főként a finom térbeli felbontást biztosító adatok olvasódnak ki



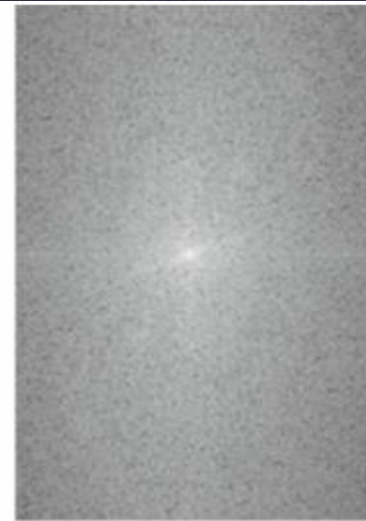
k-space center

+



k-space periphery

=



full k-space

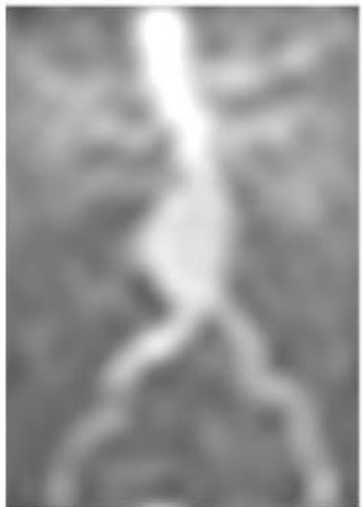


image contrast

+

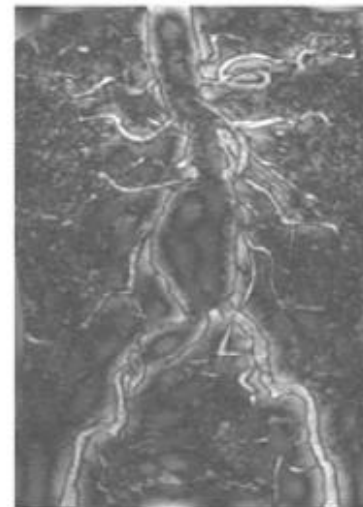


image detail

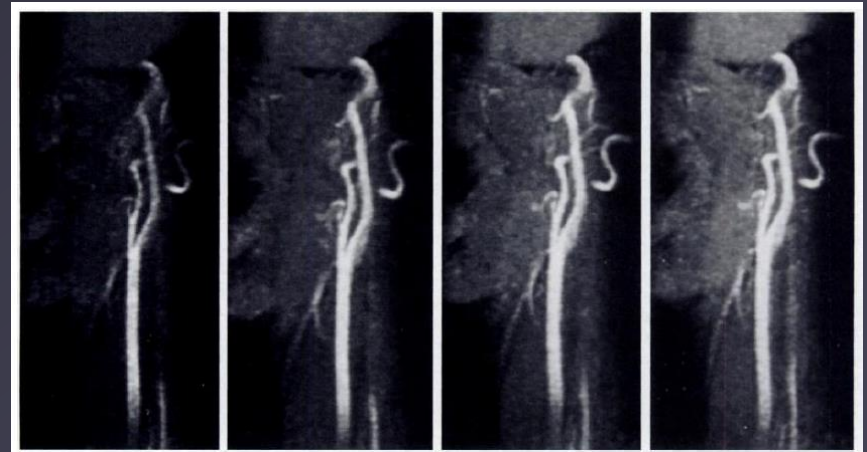
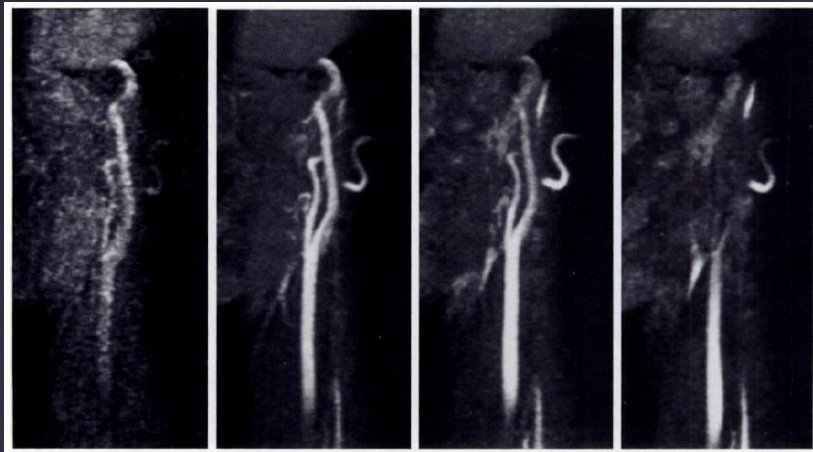
=



full image

CE-MRA: a kompromisszumok finomhangolása

- ◆ Mátrix / szeletvestagság: térbeli felbontás vs. akvizíciós idő
- ◆ Látómező (FOV) foldover vs. akvizíciós idő
- ◆ Bandwidth: SNR vs. akvizíciós idő
- ◆ Flip angle : háttér szupresszió vs. akvizíciós idő
- ◆ Paralell imaging: aliasing műtermék vs. akvizíciós idő



Kontrasztanyag adás

- ◆ Natív MASK mérés, ha subtractio szükséges
- ◆ Magas dózis
 - » ~ 20 ml (legalább 0.2 mmol/tskg) Gd, vagy
 - » ~ 10 ml gadobutrol (Gadovist)
- ◆ Magas flow
 - » 1.5 – 3 ml / s
- ◆ Scan indítás
 - » Tesztbólus – nehézkes, de a lehető legpontosabb
 - Scan indítás halmozási csúcs előtt $T_{akv} / 2$ -vel
 - » Bólus detektáló segédprogram

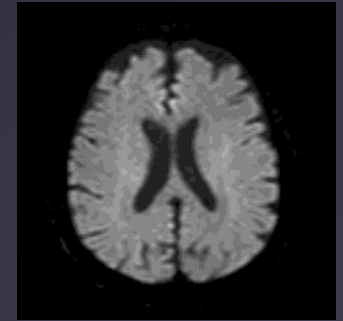
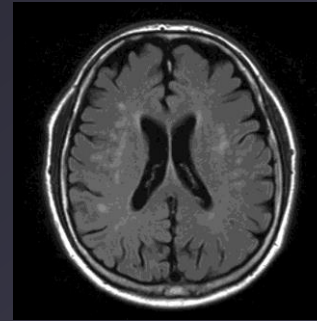
CE-MRA alkalmazásai

- ◆ Cerebrovasularis betegségek – „carotis MRA”
- ◆ Thoraco-abdominalis aorta
 - » Aneurysma
 - » Dissectio (elsősorban krónikus stádium, stabil betegen)
- ◆ Renovascularis hypertonia
- ◆ Alsó végtag – teljes vagy szakaszos
 - » Léptetéssel felhastól lábig
- ◆ Komplex anomáliák, főként mellkasban
- ◆ Ritkább:
 - » Kisvérkör
 - » Splanchnicus terület
 - » Felső végtag

Carotis MRA protokoll

◆ Rutin tájékozódó koponya MRI

- » Sag T1
- » Axi T2, FLAIR, DWI/ADC
- » Opcionális axi haemogradiens

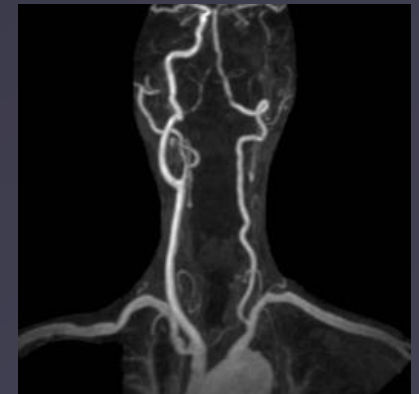


◆ 3D TOF intracranialis artériákról

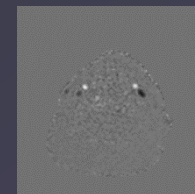


◆ 3D CE-MRA

- » 20 ml Gd (0.5 mmol/ml)
- » Bolus tracking
- » Izotropikus 3D akvizíció (1 x 1 x 1 mm)
 - Centrikus k-tér kiolvasás

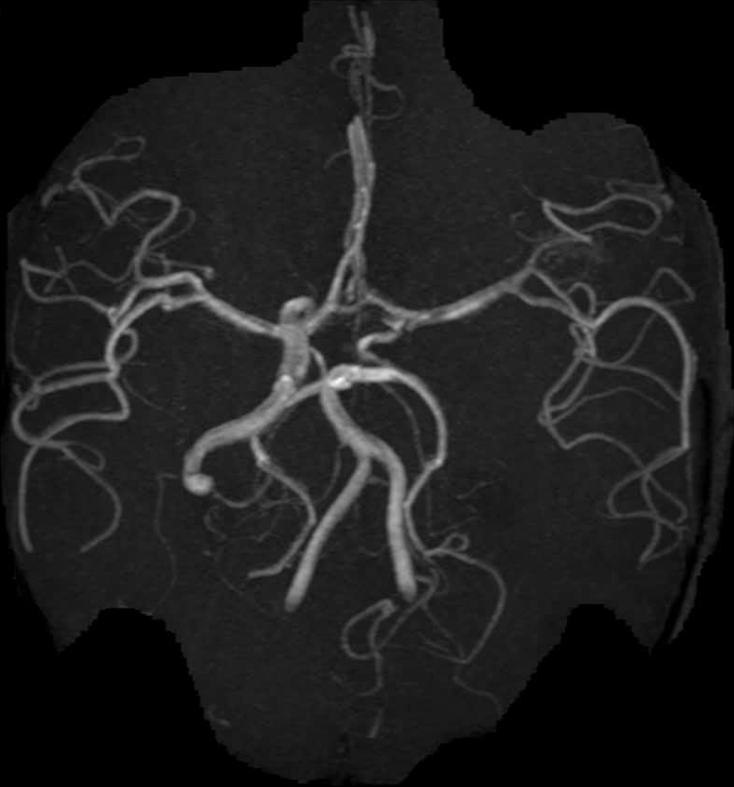


◆ Opcionális: PC MRA (pl. subclavian steal)



TOF MRA

on GE image



CE-MRA

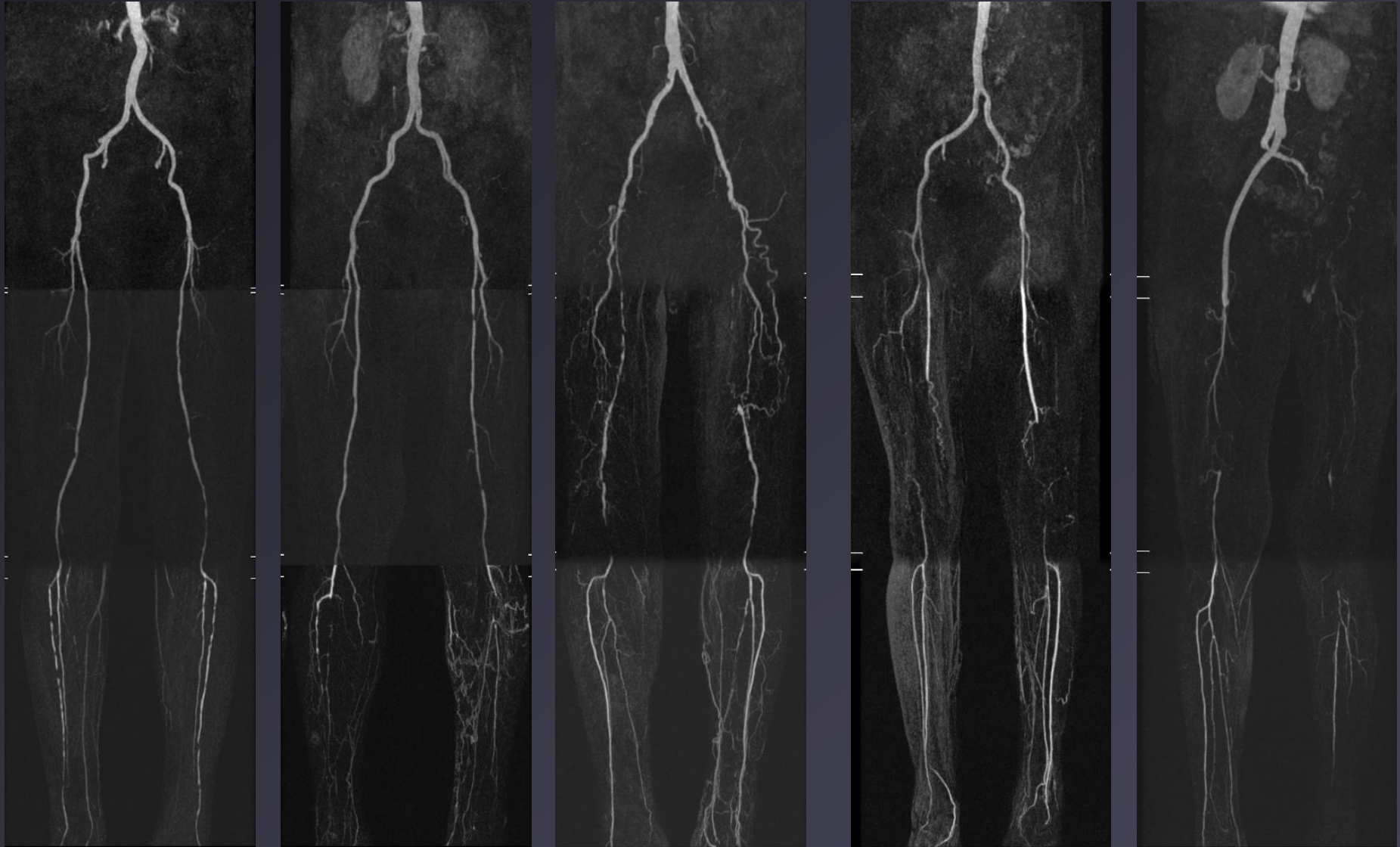
image



Perifériás artériák MR ábrázolása

- ◆ Kontrasztanyag nélküli technikák: TOF, PC, TRANCE ...
 - » Hosszú mérési idő: régióként 10-20 perc
 - » Alacsony áramlási sebesség mellett nem megbízhatóak – túlbecslés veszélye
- ◆ Kontrasztanyag MRA: CE-MRA
 - » Bólus-követés asztalléptetéssel
 - » Elnyújtott bólusban adott magas dózisú (0.2mmol/tskg) Gd
 - » Optimális térbeli felbontáshoz 3 elemes phased array tekercs
 - » Dedikált vizsgáló szekvencia + kiértékelő program
 - » Alternatíva: léptetés nélküli egy régióra célzott vizsgálat
- ◆ Az ábrázolás statikus – aktuális beteg haemodynamikai állapotához nem, vagy korlátozottan adaptálható
 - » Két végtag eltérő telődése
 - » Perifériás kiáramlás

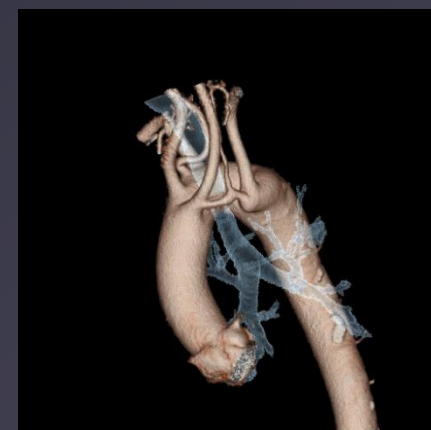
Asztalléptetéses bóluskövetéses MRA

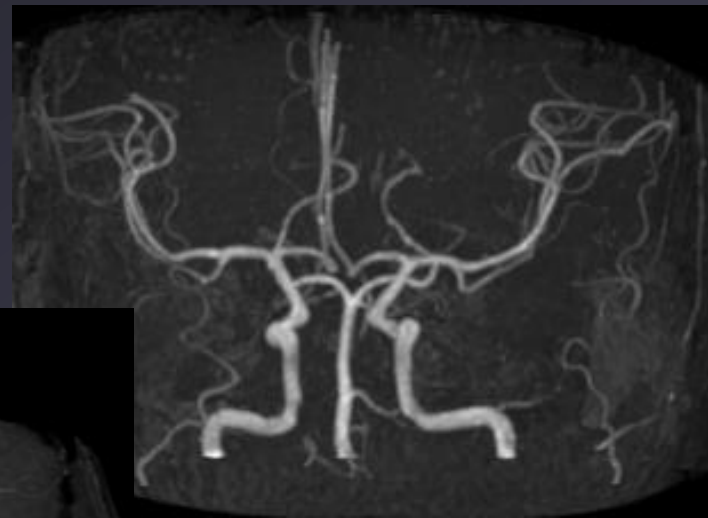
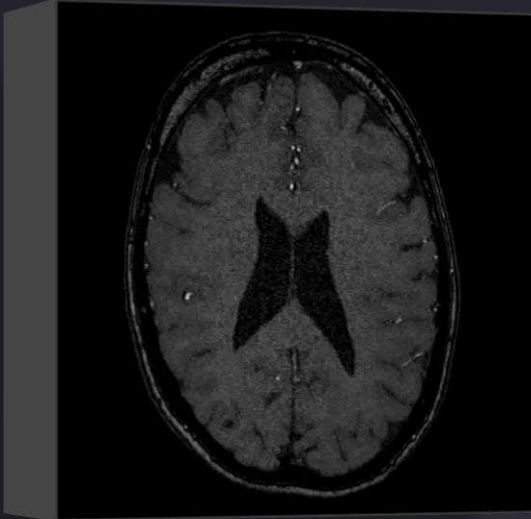


Perifériás ábrázolódás minősége erősen függ a keringésdinamikától

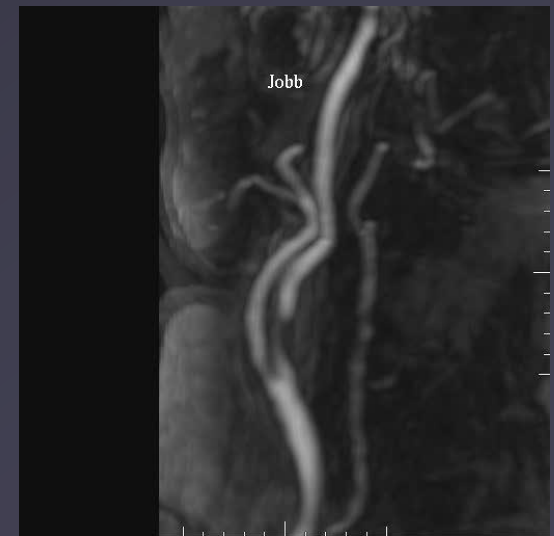
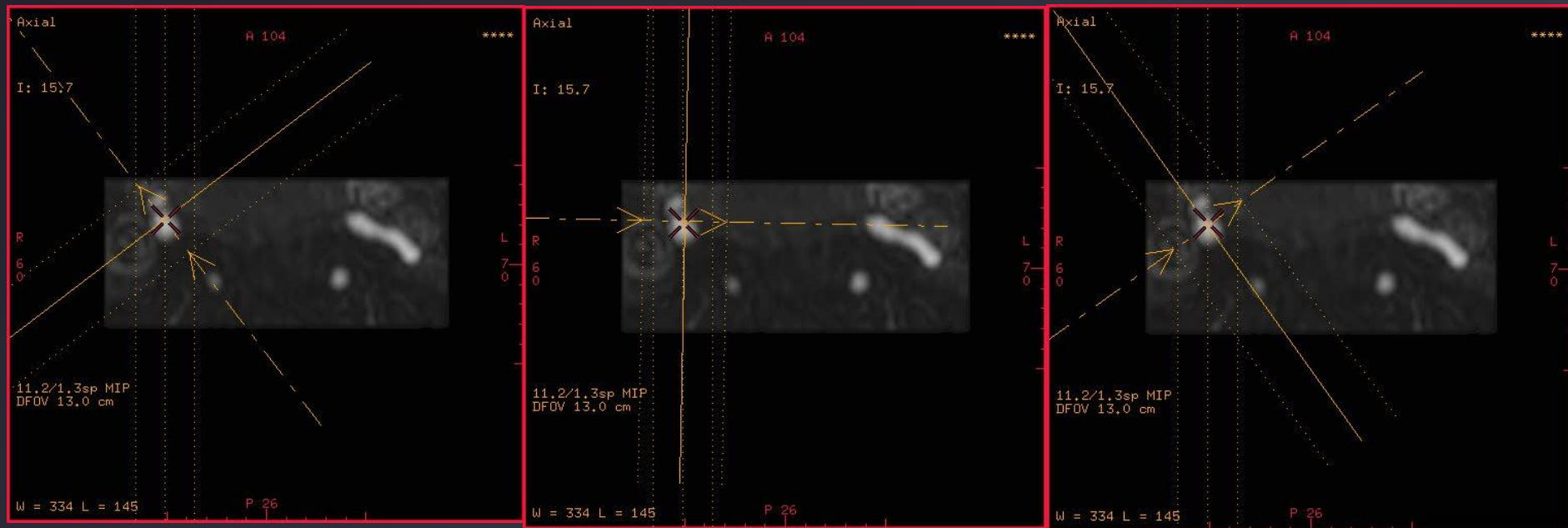
Feldolgozás (post-processing)

- ◆ 2D reformált felvételek
 - » tetszőleges síkú (MPR)
 - » „görbült” (curved, CR)
- ◆ 3D reformált felvételek
 - » Maximum Intensity Projection (MIP)
 - » Volume Rendering (VR)
 - » árnyékolt felszínû (SSD)
- ◆ (Fél)-automatikus analízis programok
 - » Automatikus szegmentáció, „csont-mentesítés”
 - » Stenosis számítás átmérő és keresztmetszeti terület mérés alapján
 - » Aneurysma méretezés

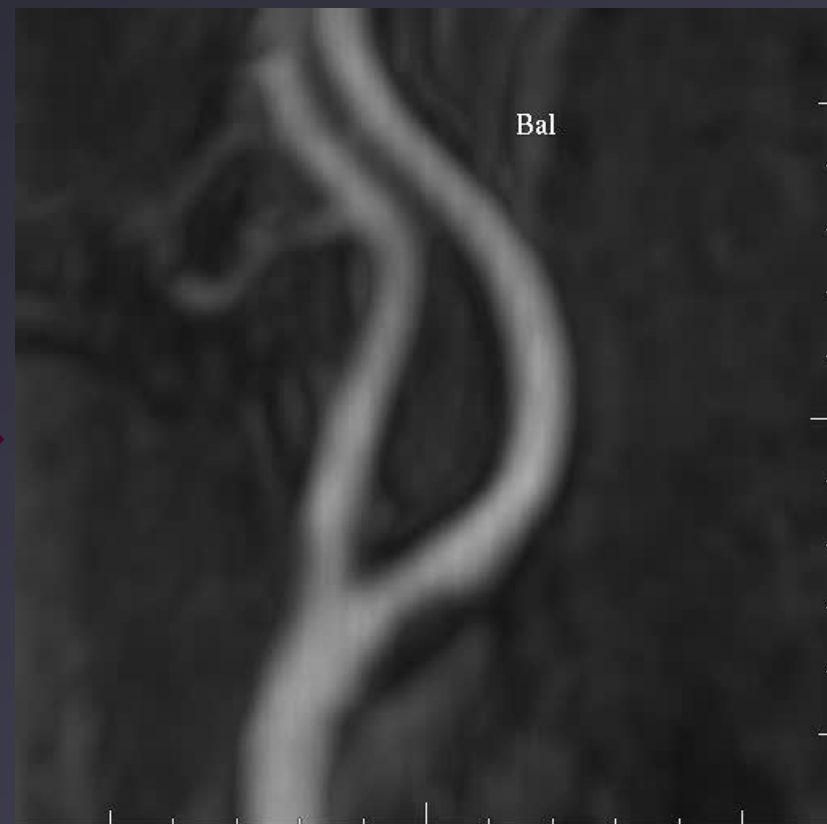
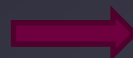
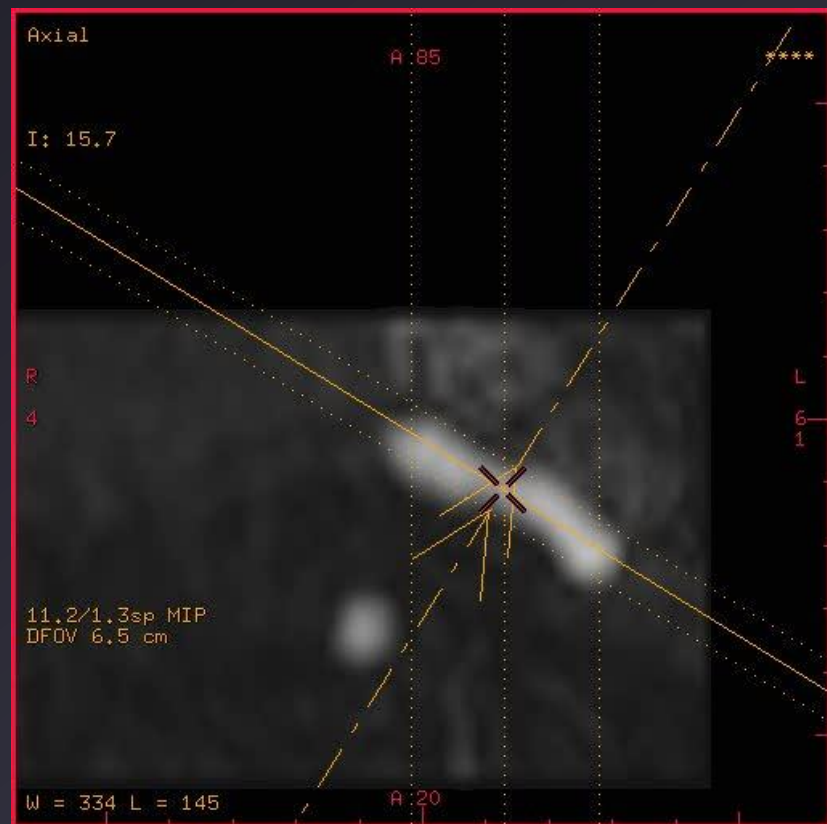


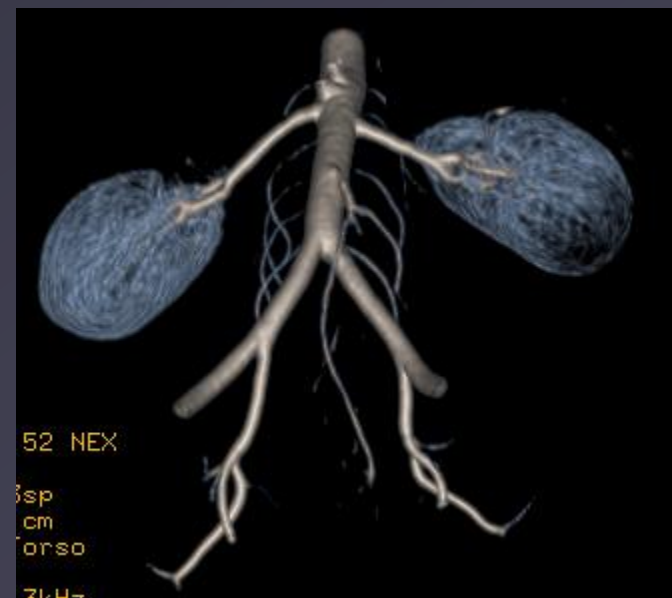
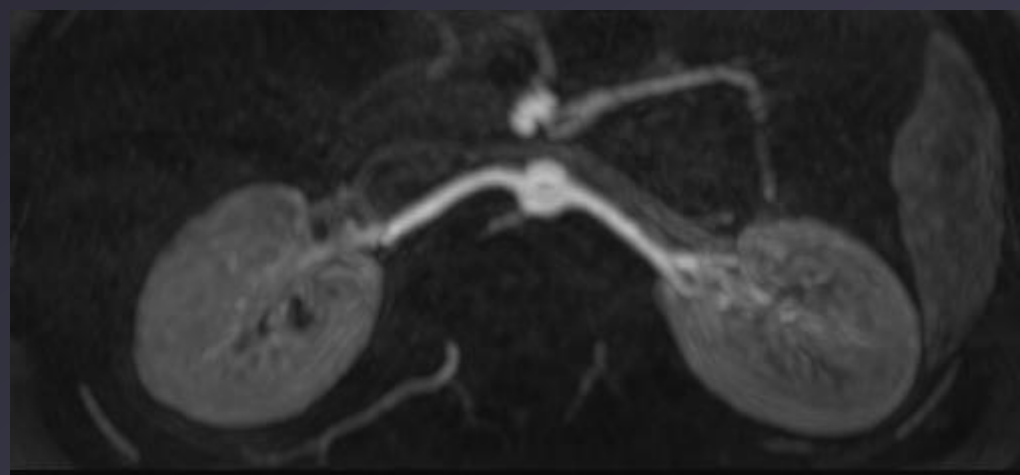
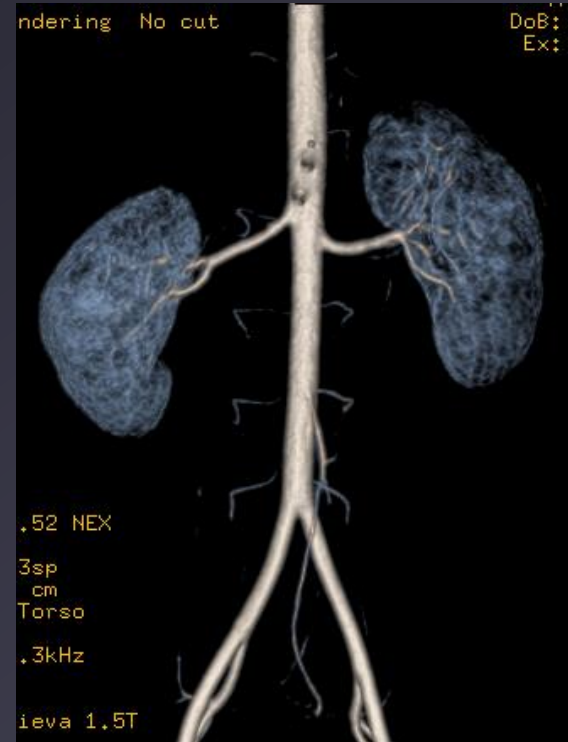
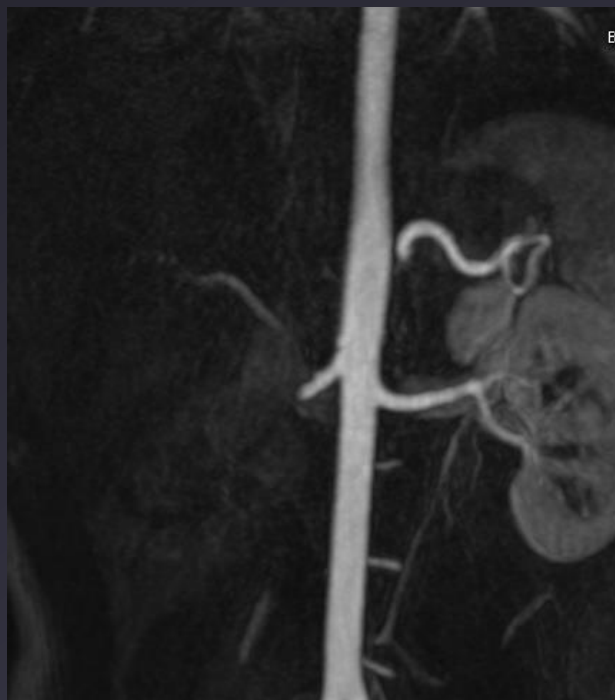
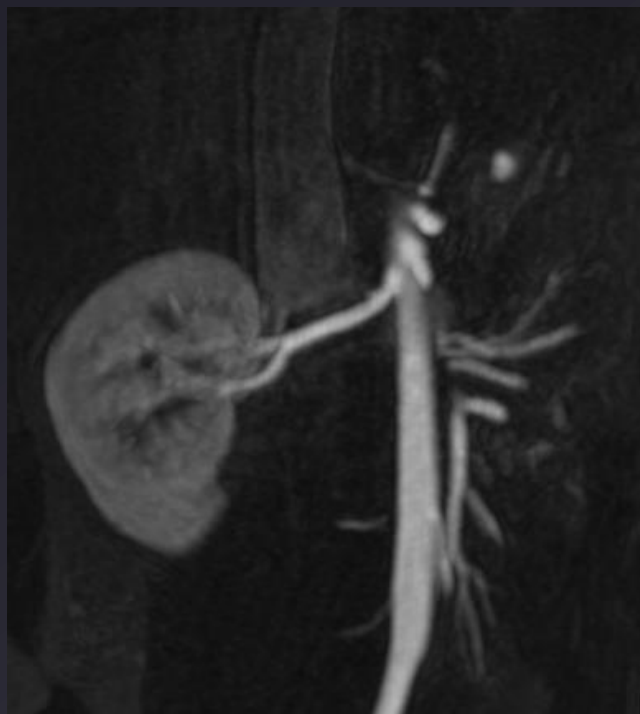


Vastagszeletes (15-20 mm) - „slab MIP”



Vékonszeletes (5 – 6 mm) – MIP / MPR





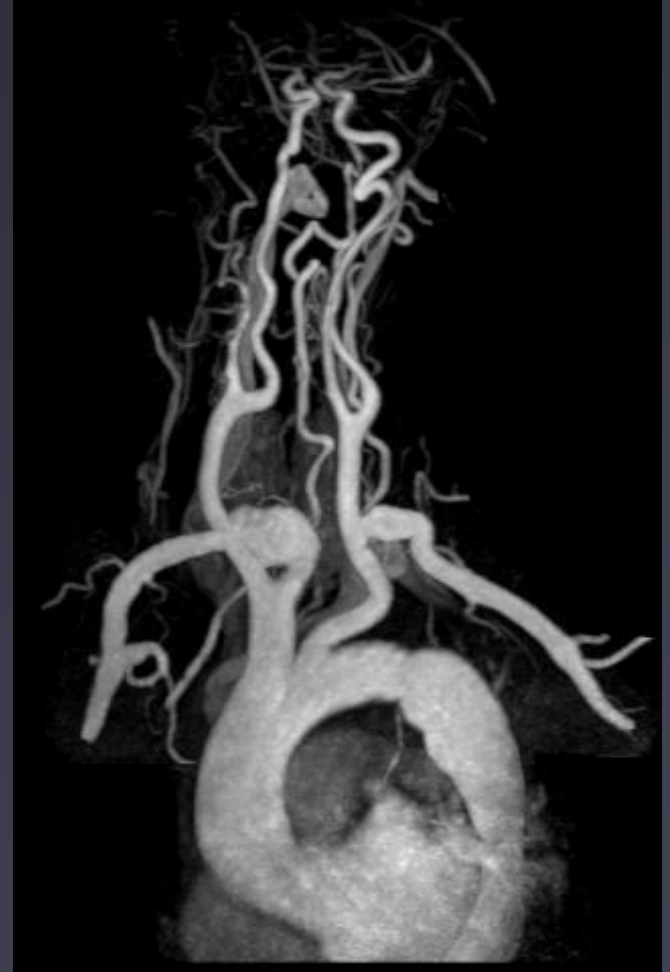


- ◆ A 3D szövettömb perifériájáról a viszonylag magas jelet adó zsírszignál eltávolítása – MIP ábrázolást zavarja

MIP optimalizálása editálással



Editálás



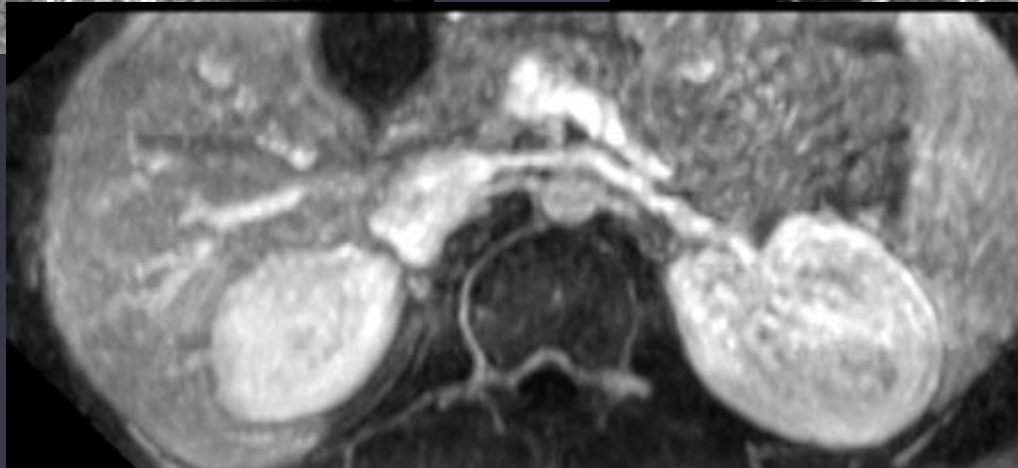
„Túledítálás” veszélyei: pseudostenosis - pseudoocclusio



Kiértékelés

- ◆ Primer metszetek („munkaképek”)
 - » az összes vizsgálati információt tartalmazzák, minden további processzálás adatvesztést eredményez(het)
- ◆ MIP
 - » vascularis anatómia globális áttekintése, DSA-szerű szemléltetés
- ◆ MPR, CR
 - » stenosis / tetszőleges síkú metszeti anatómia
- ◆ 3D Volume Rendering (VR)
 - » érképletek / parenchymás szervek komplex anatómiai viszonyainak szemléltetése
 - » műtéti tervezés, modellezés

Vénás fázis – már nem fist pass (ne hívjuk MRA-nak)



MR korszerű lehetőségei

- ◆ Steady state free precession (SSFP) szekvenciák (FIESTA, True-FISP, b-FFE)
 - » EKG-vezérelt mozgó felvételek magas térbeli felbontás és SNR mellett
 - » Single shot és 3D SSFP – anatómia ábrázolása kontrasztanyag nélkül
 - MR-koronarográfiás szekvenciák
- ◆ Légzőmozgás keltette műtermékek kiküszöbölése
 - » Navigátor echo
 - » Real time képalkotás
- ◆ Magnetization preparation pulses
 - » Tetszőleges súlyozás vagy jel elnyomás (pl. vér- vagy zsírsuppresszió)
- ◆ Kontrasztanyag MRA (CE-MRA)
 - » EKG-vezérelt 3D-akvizíció
 - » „Time-resolved” MRA – többfázisú dinamikus vizsgálat
- ◆ Fáziskontraszt (velocity encoding) MRA
 - » Áramlási irány és sebesség mérés



Natív MRA : bSSFP

◆ Balanced Steady State Free Precession- bSSFP

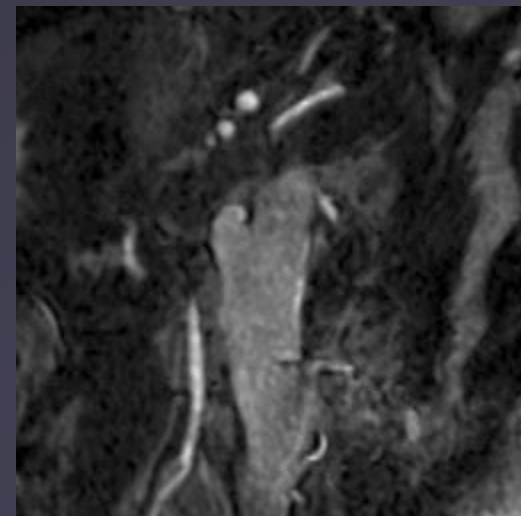
- » FIESTA (GE)
- » TruFISP (Siemens)
- » bFFE (Philips)

◆ 3D EKG-vezérelt akvizíció +/- FatSat

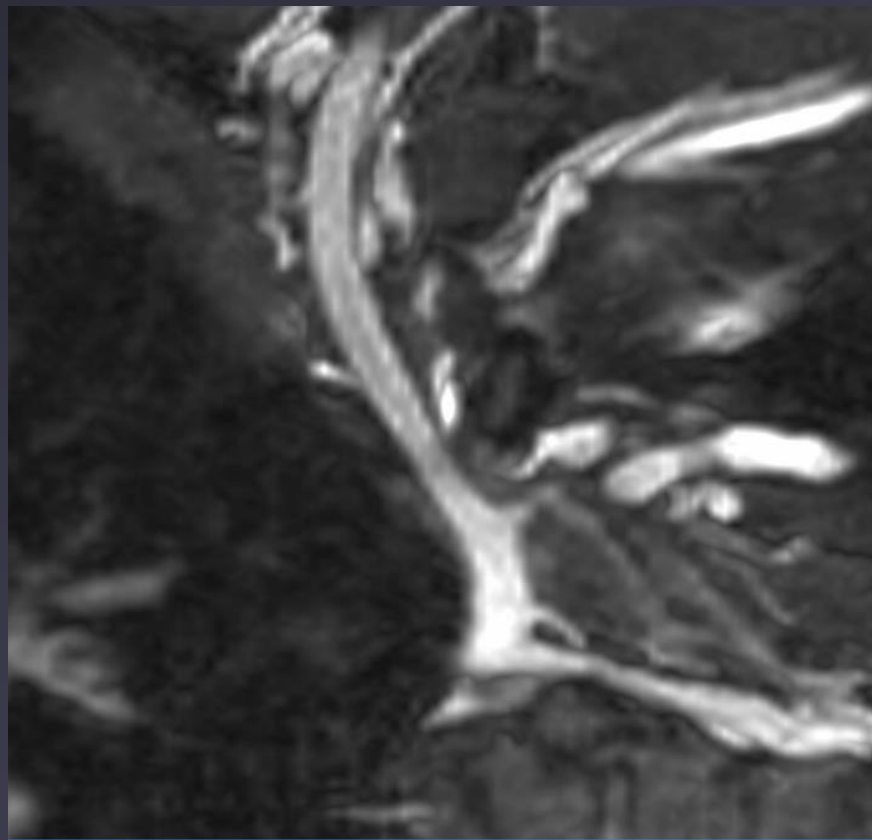
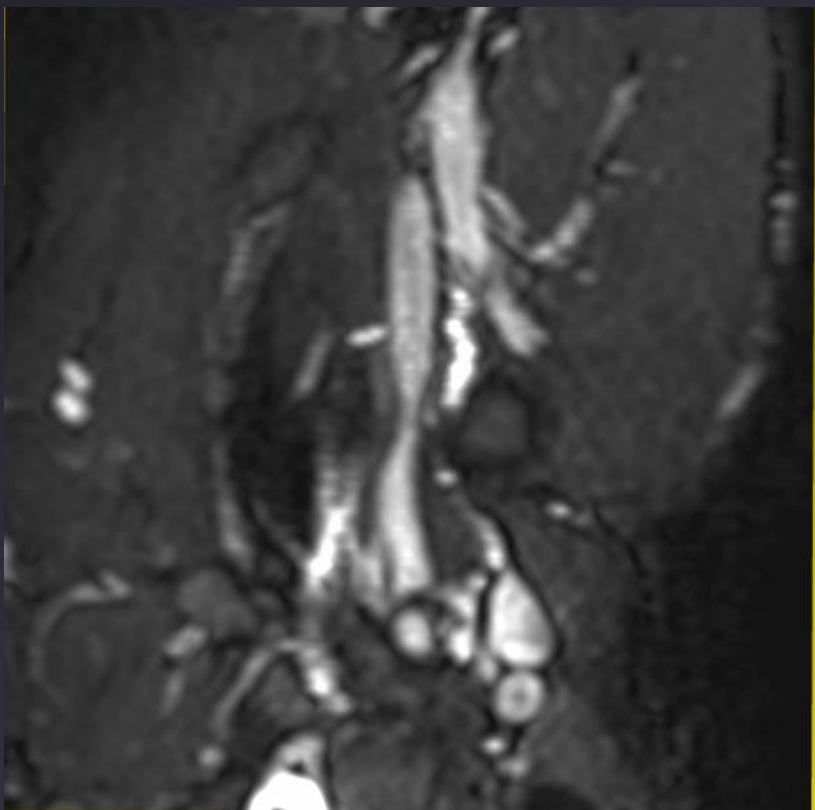
- » MR-koronarográfia mérési módja navigátoros légzésvezérléssel
- » Érlefutást követő (nem merőleges !) vastag slab
- » Akvizíciós idő: 3-6 perc (MR-koronaro 15-20 perc)
- » Magas SNR és térbeli felbontás
- » De! kooperációt,mozdulatlanságot igényel

◆ CE-MRA alternatívája

- » Beszűkült vesefunkció
- » Kontrasztanyag érzékenység



TOS dinamikus ábrázolása SSFP szekvenciával



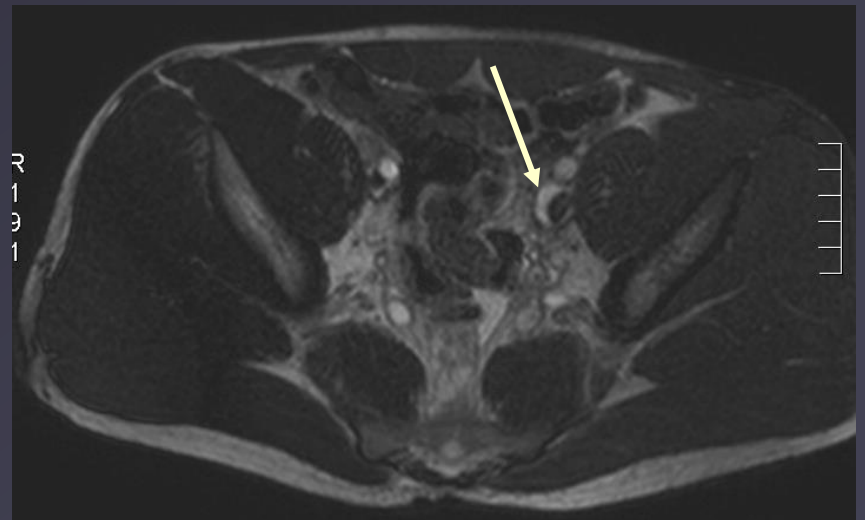
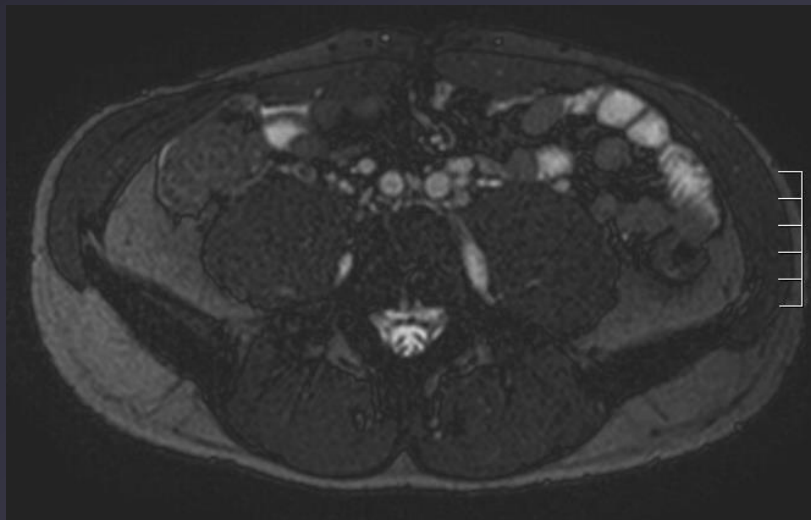
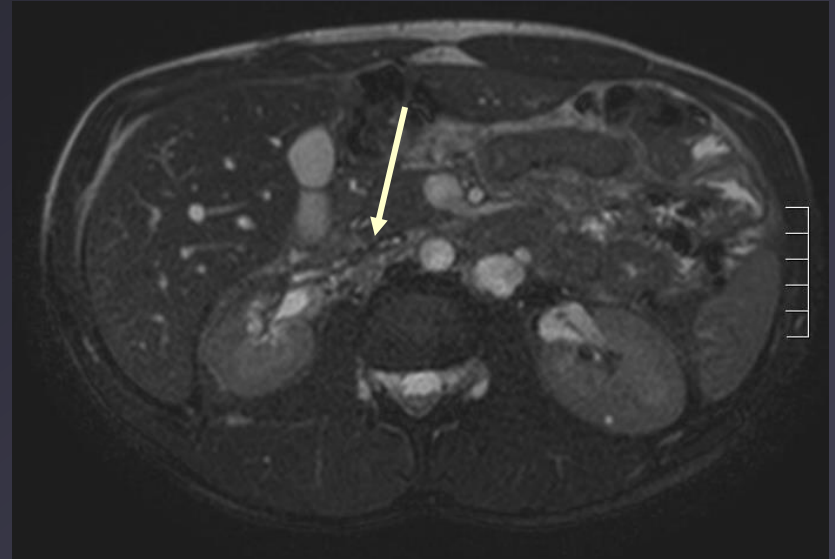
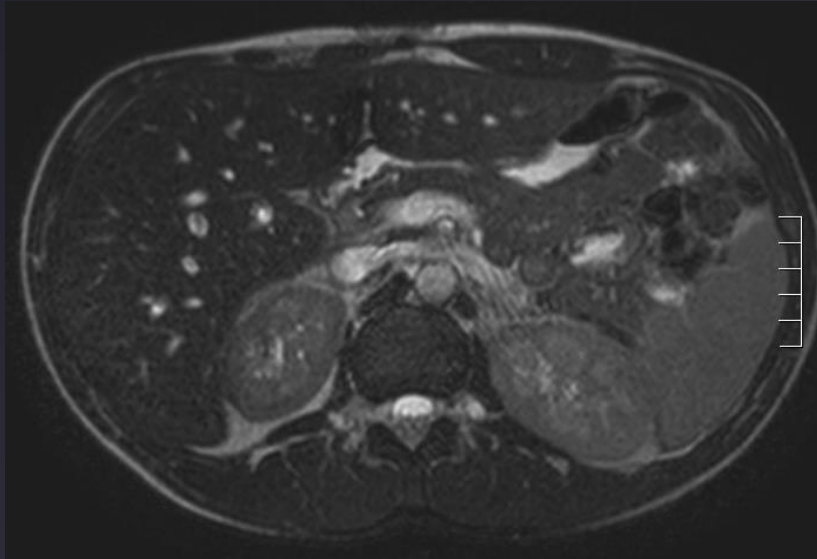
MR-coronarográfia



- ◆ Navigátor-vezérelt 3D bSSFP

Balanced steady state MRI

Krónikus cava occlusio + residualis trombus az iliaca rendszerben



„4D” Time resolved dinamikus MRA

- ◆ Sokfázisú teljes 3D akvizíció
- ◆ Dinamikus kontrasztanyag adás
 - » 0.1 mmol/tskg (~20 ml)
 - » 1.5-3 ml/sec
- ◆ 10-30 fázisú mérés
 - » Mérési idő minimalizálása
 - Korlátozott térbeli felbontás
 - Paralell imaging, magas „SENSE” faktor
 - » „View sharing” vagy „keyhole” technika
 - k-tér adatainak megosztása a szomszédos fázisok között

Dinamikus „time resolved” CE – MRA: ismételt 3D akvizíció



Advantages, Limitations, and Clinical Applications of Unenhanced MR Angiographic Techniques

Technique	Advantages	Limitations	Clinical Applications
TOF	Simple and robust	Long imaging time; direction dependent; signal loss in in-plane, turbulent, or complex flow; susceptible to field heterogeneities	Cerebral arteries (3D), peripheral vessels (2D), head and neck arteries (2D)
Phase-contrast	Suppressed background signals, direction independent	Long imaging time (3D), signal loss in turbulent flow, sensitive to motion, parameter dependent	Cerebral veins (3D), hemodynamic evaluation
ECG-gated FSE	Relatively short imaging time, sensitive to slow flow, less susceptible to field heterogeneities	Complex imaging, direction dependent, sensitive to motion	Peripheral arteries, aorta
SSFP	Short imaging time, high signal-to-noise ratio, relatively flow independent	High background signals, susceptible to field heterogeneities	Renal arteries, aorta, coronary arteries
ASL with SSFP	High signal-to-noise ratio, suppressed background signals	Relatively complex imaging, signal loss in fast or complex flow, susceptible to field heterogeneities	Renal arteries, various visceral vessels
Black blood	Less sensitive to complex flow	Long imaging time, unsuitable for angiography	Vessel wall imaging, carotid arteries, aorta

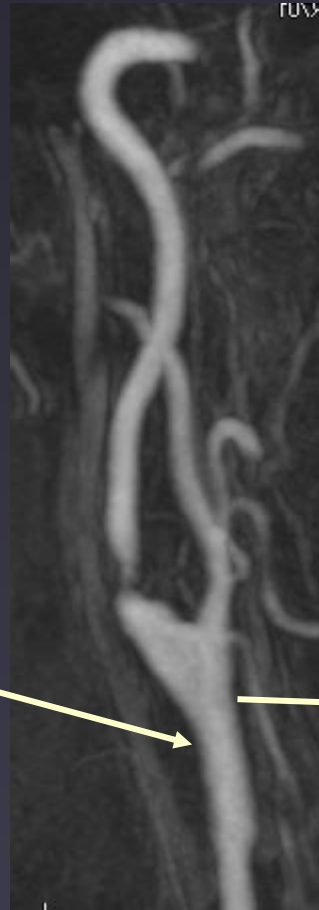
Note.—ASL = arterial spin labeling, ECG = electrocardiograph, FSE = fast spin echo, SSFP = steady-state free precession, 3D = three-dimensional, 2D = two-dimensional.

CE-MRA ~ luminográfia

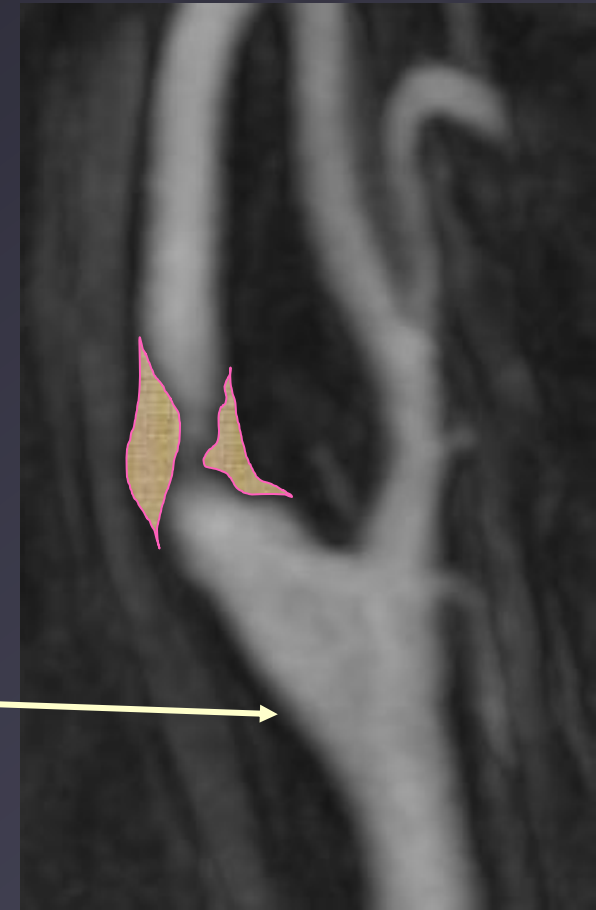
Volumen MIP



Slab MIP 15 mm



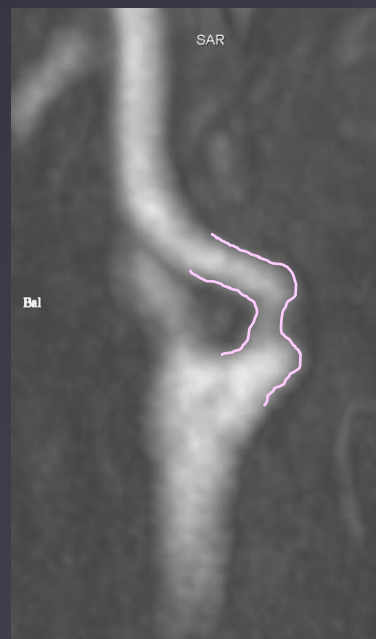
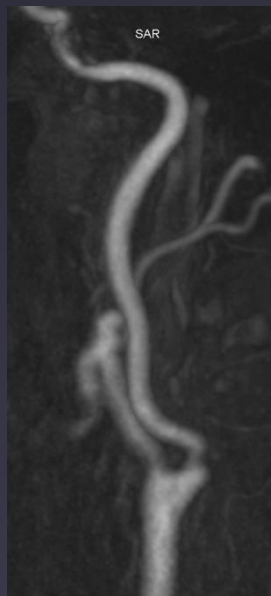
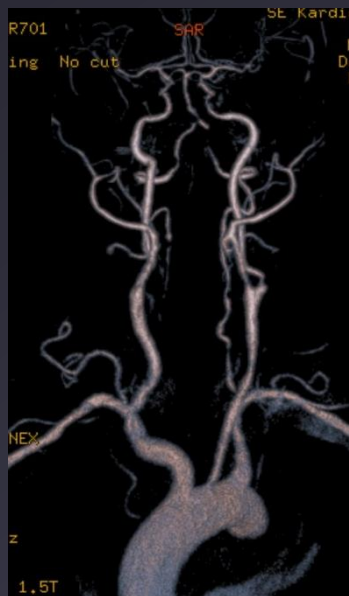
Slab MIP 5 mm



- ◆ MIP megjelenítés DSA-hoz hasonlóan a kontrasztanyaggal telődő lument ábrázolja, az érfali eltérések / plakkok nem vagy alig azonosíthatók

Stenosis mérés MRA alapján

- ◆ 2D és 3D TOF technikához viszonyítva CE-MRA-t áramlási műtermék alig zavarja, de
 - » Magas áramlási sebesség fázisvesztést okoz
 - » Durva plakk meszesedés szuszeptibilitási műtermékekkel jár
- ◆ Térbeli felbontás kissé korlátozott (térerő és gradiens függő)
- ◆ Lumen pontos kontúrjainak meghatározása problematikus lehet
- ◆ CE-MRA a stenosist enyhén túlbecsüli

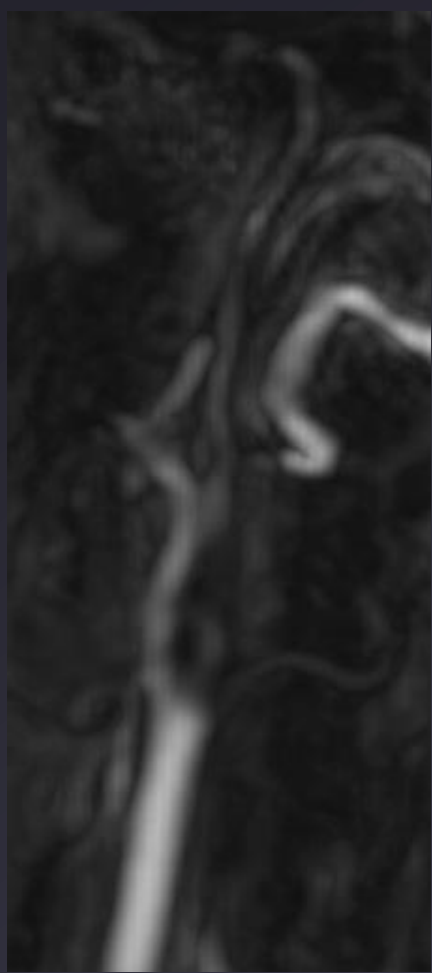


?

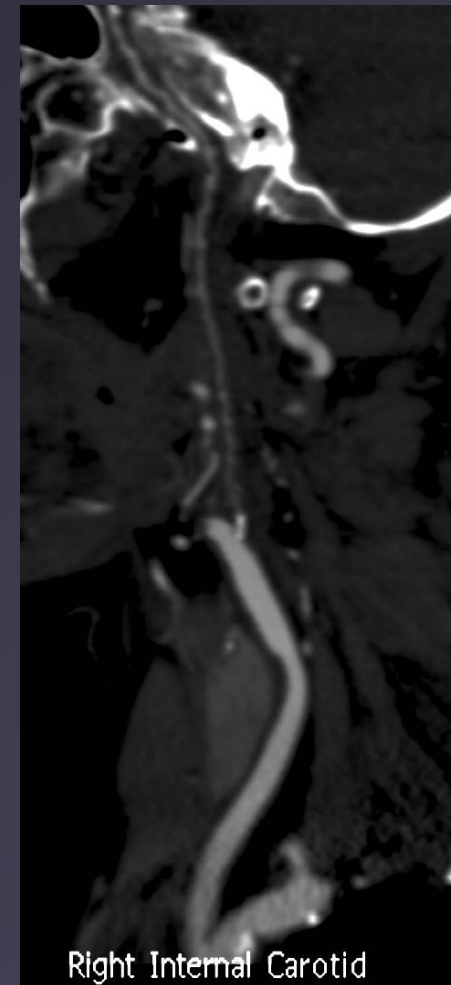


Occlusio / pseudo-occlusio ?

- ◆ Teljes elzáródás kizárja revascularisatio lehetőségét
- ◆ CTA pontosabb a residualis lumen ábrázolásában
- ◆ De, hosszú szakaszú filiformis kiáramlással járó sub-occlusiv állapot sem alkalmas műtétre/intervencióra
- ◆ MRA és CTA hasonló hatékonyságú



CE-MRA

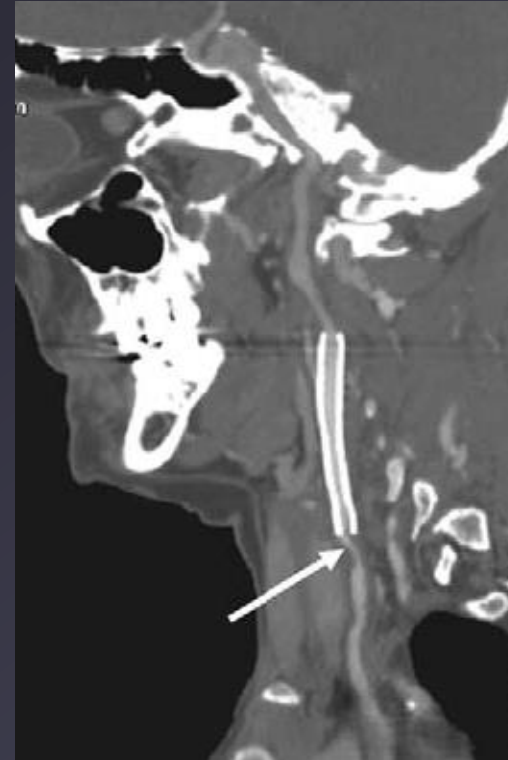


CTA

Stent átjárhatósága / in-stent stenosis



CE-MRA

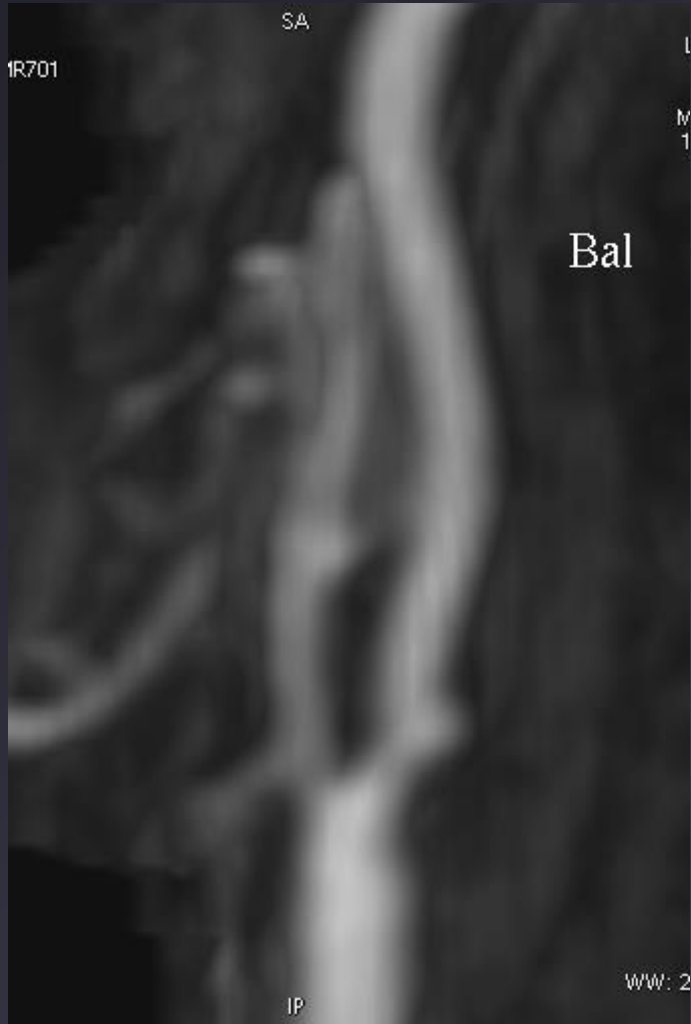


CTA

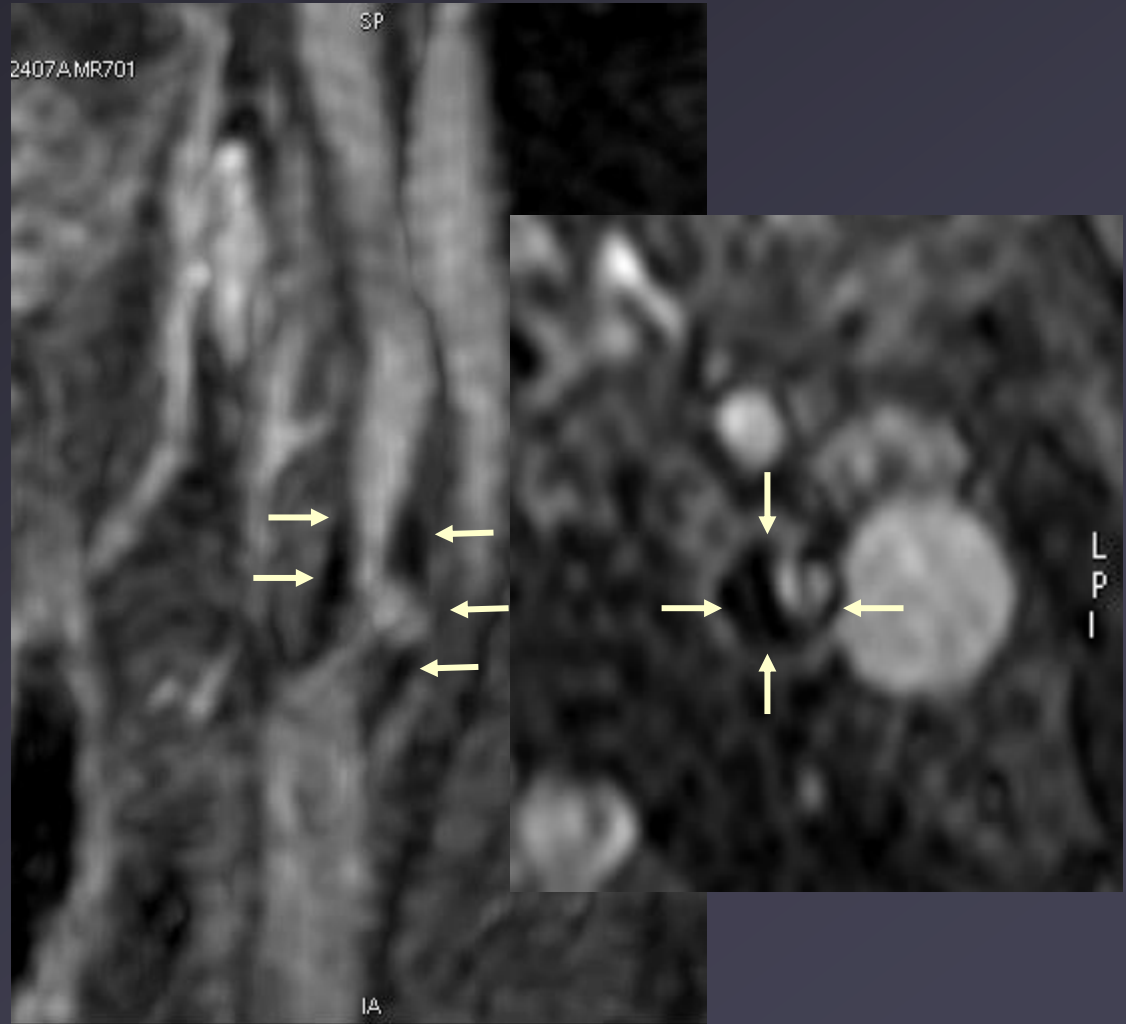
- ◆ Magnetizációs műtermékek az MR vizsgálatot zavarhatják
- ◆ Kis átmérő mellett a CT is műtermékes, az MR ilyenkor értékelhetetlen

Blood pool MR kontrasztanyag: Vasovist (emléke szívünkben él...)

First pass



Equilibrium fázis



- ◆ Plakk exulceratio - késői, equilibrium fázisban a plakkok is jól azonosíthatók

MRA összefoglalva

- ◆ Bionegatív hatás nélküli nem- vagy minimálisan invazív technika
 - ◆ Natív technikák mint rutin vizsgálatok kiegészítése fontos addicionális információt hordoznak – „rule out” szerep
 - ◆ 3D CE-MRA
 - » Nagy látótérrel teljes testrégiók artériás rendszerét ábrázolja
 - » Katéteres angiográfiát kiváltó problémamegoldó képalkotás
 - » Post-processing egyszerű, csontokat nem kell editálni
 - ◆ Alternatív natív MRA technikák lehetősége veseelégtelenség esetén
-
- ◆ Térbeli felbontás kissé korlátozott
 - » Stenosis kvantifikálás szemikvantitatív, hajlamos túlbecsülni
 - ◆ Hosszabb vizsgálati idő
 - » Maga az MRA akvizíció több mozgási műterméknek van kitéve
 - » Instabil, nem-kooperáló beteg nem vizsgálható