

# Využití obrazové fúze MR a CT v běžné práci radiologa

## Use of MRI and CT image fusion in the routine work of a radiologist

Jan Baxa<sup>1</sup>, Petra Smetáková<sup>2</sup>, Radek Tupý<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Klinika zobrazovacích metod LF UK a FN, Plzeň

<sup>2</sup>Fakulta zdravotnických studií, Západočeská univerzita v Plzni

### Hlavní stanovisko práce

Fúze obrazových dat může znamenat významný přínos v diagnostice a také zásadně přispět k prezentaci zjištěných změn. Současné softwarové nástroje umožňují její velmi jednoduché provedení v rutinní práci radiologa.

### SOUHRN

**Baxa J, Smetáková P, Tupý R. Využití obrazové fúze MR a CT v běžné práci radiologa**

Vizuální porovnávání různých obrazových sad je běžnou součástí práce radiologa, nicméně provádění tzv. „vedle sebe“ („side-by-side“) ve dvou oknech či dokonce monitorech je velmi náročné na čas i pozornost a rizikové z hlediska chybného hodnocení. V článku jsou prezentovány praktické návody a ukázky využití obrazové fúze MR a CT v běžné praxi radiologa, kdy tyto postupy znamenají významný přínos v diagnostice a také zásadně přispět k prezentaci zjištěných změn. Současné softwarové nástroje umožňují její velmi jednoduché provedení v rutinní práci radiologa.

**Klíčová slova:** obrazová fúze, výpočetní tomografie, magnetická rezonance.

### Major statement

The fusion of image data can mean a significant benefit in diagnosis and also fundamentally contribute to the presentation of detected changes. Current software tools enable its very simple implementation in the routine work of a radiologist.

### SUMMARY

**Baxa J, Smetáková P, Tupý R. Use of MRI and CT image fusion in the routine work of a radiologist**

Visual comparison of different image sets is a common part of a radiologist's work, however, performing the so-called „side-by-side“ reading in two windows or even monitors is very time and attention and risky for mistakes. The article presents instructions and examples using MR and CT image fusions in the common practice of a radiologist, where these procedures mean a significant benefit in diagnostics and also fundamentally contribute to the presentation of the identified changes. Current software tools allow its very simple implementation in the routine work of a radiologist.

**Key words:** image fusion, computed tomography, magnetic resonance.

Přijato: 31. 12. 2022

#### Korespondenční adresa:

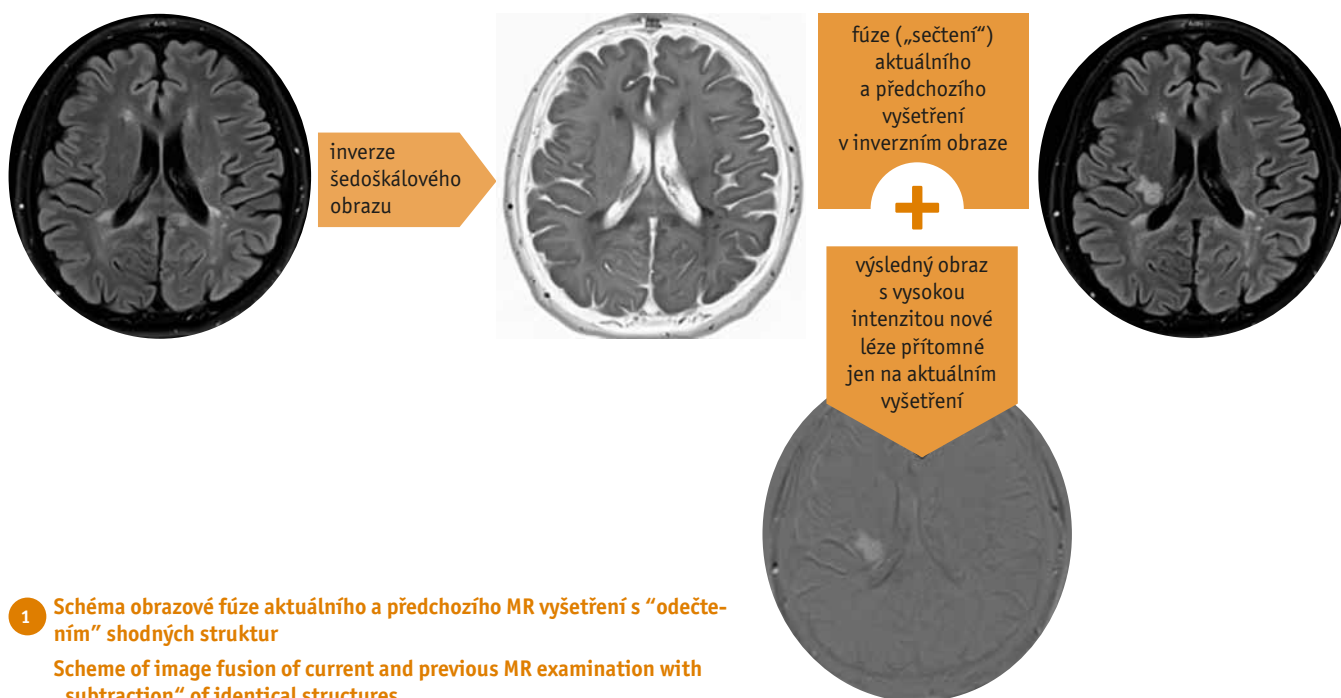
prof. MUDr. Jan Baxa, Ph.D.  
Klinika zobrazovacích metod LF UK a FN  
alej Svobody 80, 304 60 Plzeň  
e-mail: baxaj@fnplzen.cz

Konflikt zájmů: žádný.

## ÚVOD

Vizuální srovnávání různých vyšetření stejnou metodou či mezi různými zobrazovacími modalitami je běžnou součástí práce radiologa. Jedná se hlavně o porovnání vývoje nálezů v různých časových intervalech, které mohou být synchronně prohlíženy pomocí dedikované softwarové aplikace nebo porovnávání nálezů v různých zobrazovacích

modalitách (např. CT a MR). Vizuální porovnávání obrazů tzv. „vedle sebe“ („side-by-side“) je jistě velmi náročné na pozornost a je rizikové z hlediska chybného hodnocení. Z tohoto pohledu je obecná možnost sdružení (fúze) obrazových dat do jednoho zorného pole jednoznačným přínosem pro samotné hodnocení.



### 1 Schéma obrazové fúze aktuálního a předchozího MR vyšetření s „odečtením“ shodných struktur

Scheme of image fusion of current and previous MR examination with „subtraction“ of identical structures

Fúze různých obrazových sad do jednoho obrazu je jistě nejvíce známá a využívána při hodnocení tzv. hybridních metod, tedy PET/CT, PET/MR či SPECT/CT. U těchto metod se jedná o integrální součást čtení. Lze ji ale výhodně použít také v případě běžných CT a MR vyšetření a tento článek obsahuje jednoduché návody a zejména praktické ukázky využití obrazové fúze právě u těchto modalit.

## TECHNIKA A PŘEDPOKLADY OBRAZOVÉ FÚZE

Možnost obrazové fúze je umožněna unifikovanou digitální podobou výstupů většiny zdravotnických zobrazovacích modalit, nicméně existuje několik různých způsobů, kdy hlavním procesem je tzv. společná registrace (co-registration) dvou obrazů do jednoho se zachováním prostorových vztahů (1).

Z obecného pohledu je nutné odlišit tzv. „hardwarovou fúzi“, kdy jsou obrazová data získávána v rámci jednoho vyšetření, a tedy při stejné pozici pacienta. Jedná se samozřejmě o PET/CT a PET/MR vyšetření, kdy hlavním přínosem je cílená registrace obrazových dat v reálném čase. Tento způsob umožňuje vysokou přesnost obrazové fúze, nicméně komplikací je výrazná odlišnost morfologických obrazů

s vysokým prostorovým rozlišením a rychlou akvizicí a PET obrazy s horším prostorovým rozlišením i náchylností k pohybovým artefaktům (2).

Pro fúzi obrazových dat získaných na různých přístrojích (CT a MR) je možné využít jen dedikovaných softwarových technik (tzv. „softwarová fúze“), které využívají tzv. „off-line“ registraci. Hlavním problémem této techniky je hlavně odlišná poloha či objem částí těla a orgánů na vyšetřeních pořízených v odlišném čase nebo dokonce pomocí jiných modalit. V případě CT a MR to znamená výraznou limitaci pro orgány dutiny břišní a hrudníku vzhledem k dýchacím pohybům. Lepší situace je v oblasti osového skeletu a zejména centrální nervové soustavy. V případě MR je zároveň výhodou velmi stabilní a unifikovaná pozice hlavy a páteře na vyšetřovacím stole (i mezi různými výrobci). Jednoznačně nejpřesnější je pak „off-line“ fúze jednotlivých sekvencí v rámci jednoho MR vyšetření (3, 4).

Softwarové aplikace umožňující obrazovou fúzi používají automatické techniky vzájemné registrace obou obrazových sad, které fungují na principu detekce některých „stabilních“ struktur, většinou skeletu. Výsledek automatické registrace je samozřejmě závislý zejména na výše uvedených faktorech kvality obrazových dat. V případě hardwarové i softwarové fúze pak lze při samotném hodnocení manuálně upravit registraci

dat podle vizuálního hodnocení, pokud automatické techniky nedosáhnou optimálního výsledku (5).

## UKÁZKY PRAKTICKÉHO PŘÍNOSU OBRAZOVÉ FÚZE

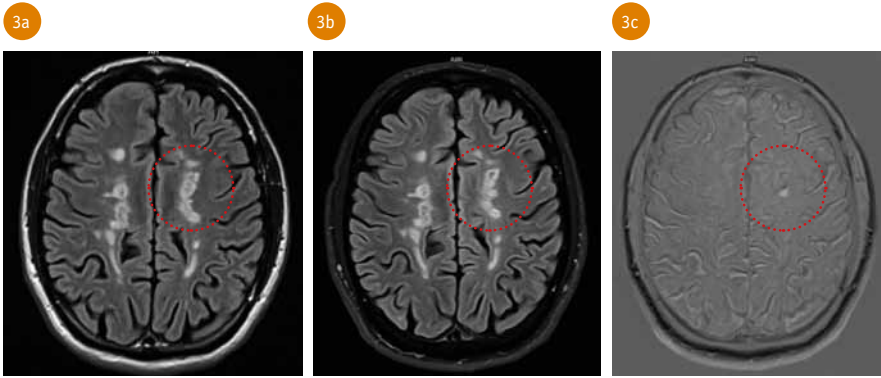
Mimo hybridní metody je obrazová fúze považována spíše využitelnou pro prezentaci nálezů pro klinické lékaře, nicméně existují situace, kdy může mít zásadní přínos v samotném hodnocení. Kromě zvýšení přesnosti hodnocení může i významně zkrátit jeho trvání.

Porovnávání vývoje nálezů na dvou vyšetřeních u jednoho pacienta s časovým odstupem je zcela běžnou činností radiologa, kdy ve většině situací postačí hodnocení ve dvou samostatných oknech. Výhodou je samozřejmě možnost umístění obou obrazů vedle sebe a případně společného „listování“. Zejména v případě komplikovaných struktur nebo velkého množství lézí, kdy je obtížná detekce nové léze či vývoje již stávající. Pokud jsou dvě srovnávané obrazové

### 2 QR kód s odkazem na krátké instruktážní video

QR code with a link to a short instructional video





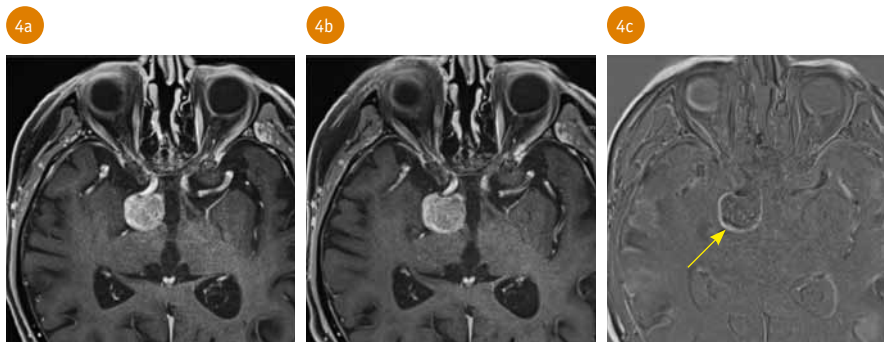
**3** Fúze MR sekvencí (FLAIR – fluid attenuated inversion recovery) z předchozího (a) a aktuálního (b) vyšetření umožnila detekovat jedinou novou drobnou demyelinizační plaku (c) v terénu jinak stacionárního postižení

The fusion of MR sequences (FLAIR – fluid attenuated inversion recovery) from the previous (a) and current (b) examinations made it possible to detect a single new small demyelinating plaque (c) in the field of otherwise stationary disability

informace (CT i MR v různých režimech a sekvencích) kvalitativně shodné, je možné pro detekci obtížně detekovatelných změn využít subtrakci obdobně, jako se provádí u digitální subtrakční angiografie (DSA), kdy je od kontrastního vyšetření odečítána nativní maska. V případě CT nebo MR vyšetření je staršímu z obou vyšetření přiřazena inverzní šedo-škálová stupnice a s oběma vyšetřeními je provedena fúze a koregistrace. Ve výsledném obraze se změny vzniklé mezi kontrolami zobrazí zřetelně jako hyper- nebo hyposignální, resp. hyper- nebo hypodenzní na poměrně uniformě šedém pozadí (obr. 1 a 2).

V koregistrované fúzi se subtrakcí jsou tedy světlá ložiska nové demyelinizační plaky v T2 FLAIR, metastázy a progresse tumorů v postkontrastním T1 váženém zobrazení, akutní krvácení v CT, naopak tmavá ložiska jsou ischemie v CT, resekované nebo zmenšené části tumorů v postkontrastním T1 váženém zobrazení, oblasti atrofie mozku apod.

Koregistrovanou fúzi je možné využít i k neobvyklým a pro konkrétní situaci cíleným zobrazením kombinací struktur, které jinak současně zobrazit nelze.

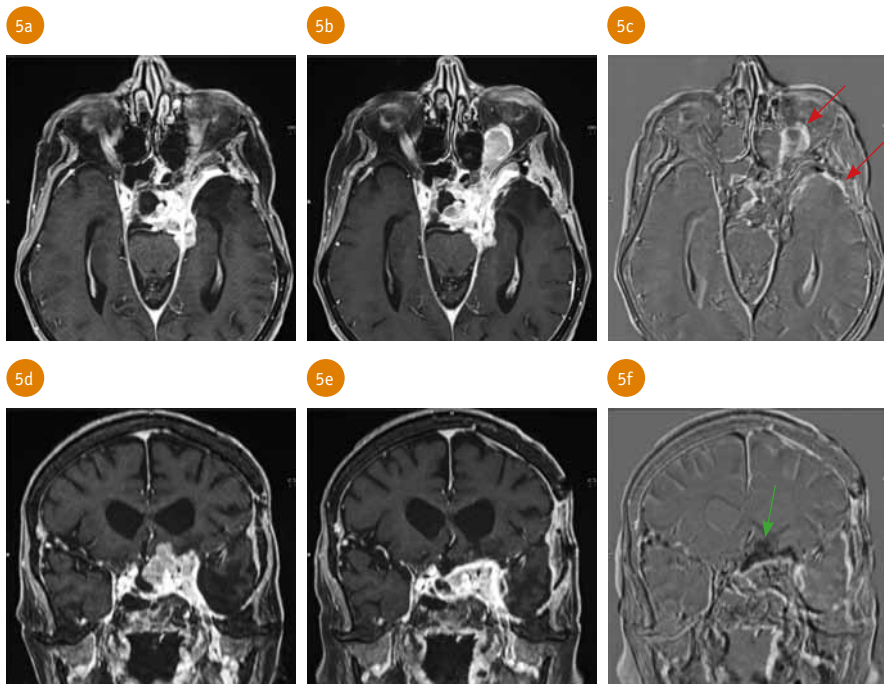


**4** Pacient s dobře ohraničeným meningeomem střední jámy vpravo, kdy za použití fúze předchozího (a) a aktuálního (b) MR vyšetření (postkontrastní STARVIBE) lze prokázat minimální růst expanze v podobě jemného světlého proužku (žlutá šipka) při okraji sledované expanze (c)

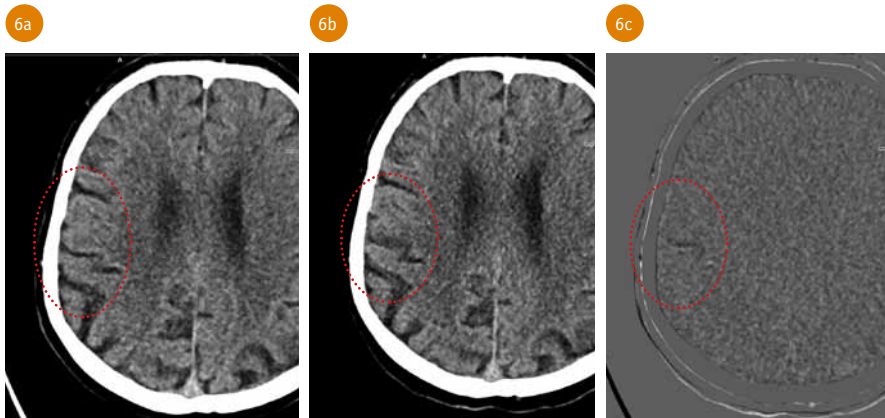
A patient with a well-defined meningioma of the middle pit on the right, when using the fusion of the previous (a) and current (b) MR examination (post-contrast STARVIBE) a minimal growth of the expansion can be demonstrated in the form of a fine light stripe at the edge of the observed expansion (c)

**5** Pacient s infiltrativně rostoucím meningeomem střední jámy po cíleném ozáření intrakraniální části objemného meningeomu. V axiální rovině (a – předchozí vyšetření; b – aktuální vyšetření) je na fúzovaném (sekvence předchozího vyšetření s inverzní šedé škály) obraze (c) patrný růst nejen do intraorbitálního prostoru, ale také ve střední jámě (bílý lem – červené šipky). Naopak v koronární rovině (d – předchozí vyšetření; e – aktuální vyšetření) je na fúzovaném obraze (f) patrná regrese tumorózních hmot v oblasti Tureckého sedla (černá zóna – zelená šipka).

**Patient with infiltrative meningioma after targeted irradiation of the intracranial part of the bulky meningioma.** In the axial plane (a – previous examination; b – current examination), the fused (sequence of previous examination with inverse grayscale) image (c) shows growth not only in the intraorbital space, but also in the middle pit (white border – red arrows). Conversely, in the coronal plane (d – previous examination; e – current examination), the fused image (f) shows regression of tumour masses in the area of the Turkish Saddle (black zone – green arrow).







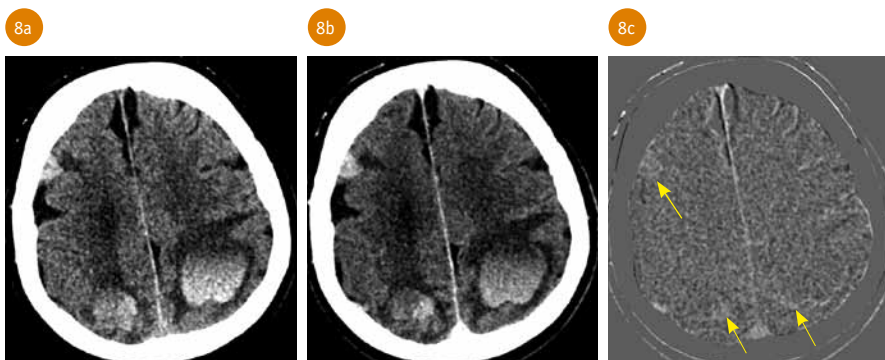
**6** **Pacient s podezřením na cévní mozkovou příhodu.** Akutní CT vyšetření (a) bez patologických změn, na kontrolním CT vyšetření (b) je patrné diskretní zneostření kontury precentrálního gyru s jemným hypodenzním okrskem. Tento nálezn je pak jednoznačně patrný při obrazové fúzi (c), kde se zvýrazní hypodenzní okrskek.

**A patient with a suspected stroke.** Acute CT scan (a) without pathological changes, the follow-up CT examination (b) shows a discreetly blurred contour of the precentral gyrus with a fine hypodense area. This finding is then clearly evident in the image fusion (c), where the hypodense district is highlighted.



**7** **Pacient s klinickými známkami iktu, ale bez průkazu patologie na akutním CT vyšetření** (a). Na kontrolním CT (b) po provedení systémové trombolytické terapie je obtížně identifikovatelný hypodenzní okrskek v oblasti hlavy nc. caudatus, který se jednoznačně ukazuje na obrazové fúzi.

**Patient with clinical signs of stroke, but without evidence of pathology on acute CT scan** (a). On the follow-up CT (b) after performing systemic thrombolytic therapy, it is difficult to identify the hypodense district in the area of the head nc. caudatus, which clearly points to image fusion.



**8** **Obecně velmi problematická je diagnostika prokrvácených mozkových metastáz, a to nejen v případě nekontrastního skenu (a), ale také postkontrastního skenu (b).** V prokrváceném terénu je postkontrastní zvýšení denzity velmi špatně jednoznačně identifikovatelné. Lze ho zvýraznit provedením fúze (c) obdobným způsobem jako při detekci ischemie, kdy jako hyperdenzní se zvýrazní okrsky prokazatelně nasycené podanou kontrastní látkou (žluté šípky) a potlačí se denzita akutního krvácení.

**In general, the diagnosis of hemorrhagic brain metastases is very problematic, not only in the case of non-contrast scan (a), but also in post-contrast scan (b).** In the hemorrhagic terrain, the post-contrast density increase is very difficult to clearly identify. It can be highlighted by performing fusion (c) similarly with the detection of ischemia, in which areas demonstrably saturated with the administered contrast agent (yellow arrows) are highlighted as hyperdense and the density of acute bleeding is suppressed.

## Sledování vývoje postižení při roztroušené skleróze

Cílené porovnávání aktuálního MR vyšetření s předchozím je základní činností při sledování efektu léčby pacientů s roztroušenou sklerózou, kdy zcela zásadní je detekce případné nové demyelinizační plaky. Porovnávání dvou obrazových sad je náročné i v případě synchronizovaného listování, a to zejména při větším počtu často splývavých plak, kdy navíc nové léze mohou být velmi drobné. Pomocí fúze a přesné koregistrace stejných obrazových sad je pak možné zobrazit jen plaky, které se objevily nově (obr. 3).

## Hodnocení růstu patologických procesů

Vizuální hodnocení vývoje některých lézí je velmi složité v případě velmi pomalého růstu nebo krátkého intervalu. Ani manuální měření v těchto případech neumožní jednoznačný závěr. V případě dostupnosti stejných MR sekvencí lze k vizualizaci využít jejich fúzi a koregistraci (obr. 4 a 5).

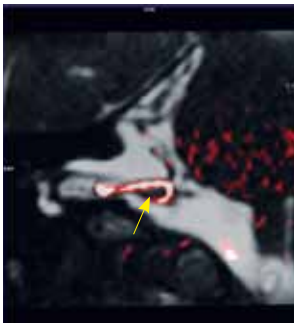
## Detekce rozvoje drobných ischemických změn mozku

V případě CT vyšetření je obecně možnost využití obrazové fúze k posuzování vývoje změn limitovaná. Důvodem je zejména vysoká pravděpodobnost selhání koregistrace obrazových dat, které je nejčastěji způsobeno i jen mírně odlišnou polohou skenované části těla, a také případné pohybové artefakty. Nicméně i v této oblasti lze nalézt případy, kdy fúze obrazových dat může zásadním způsobem přispět k diagnostice.

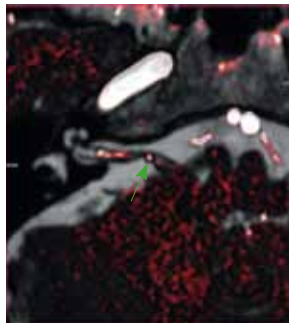
Jedná se zejména i intrakraniální oblast, kde lze zároveň také dosáhnout nejlepší úrovně koregistrace. Asi nejpříhodnější je fúze v případě detekce rozvoje hůře postřehnutelných drobných změn (obr. 6).

Posuzování rozvoje drobných ischemických změn na mozku v CT obraze někdy velmi komplikované z důvodu malé velikosti a také nízkého kontrastu vůči okolní bílé hmotě či subarachnoidálním prostorům. Je tedy nutné velmi pozorné srovnávání, a to i ve více rovinách, což je samozřejmě časově náročné a obrazová fúze může tento proces urychlit (obr. 7).

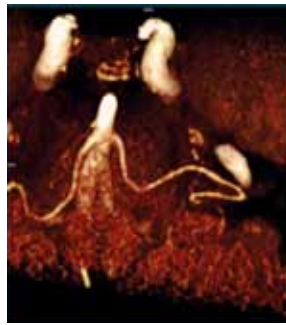
9a



9b



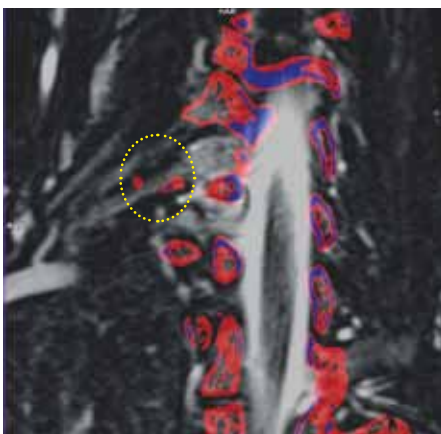
9c



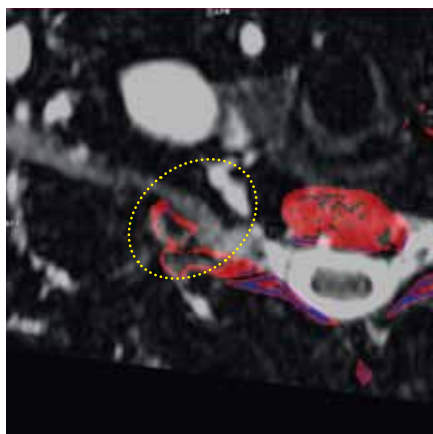
**9 Pacient s ireverzibilním tinnitem vpravo.** Pomocí fúze sekvencí cílených na nervové struktury (černé) a tepny v oblasti zadní jámy (červené) lze detekovat a demonstrovat těsný vztah anomálně vinuté dolní přední mozečkové tepny (AICA) a n. VIII (žlutá šipka) (a). Pro průkaz tzv. neurovaskulárního konfliktu je však nutné demonstrovat přímý útlak či dislokaci nervu (zelená šipka na obráze b). Na prostorové rekonstrukci je patrný výrazně vinutý průběh tepny (c).

**Patient with irreversible tinnitus on the right.** Using a fusion of sequences targeting neural structures (black) and posterior pit arteries (red), a close relationship between the anomalously lower anterior cerebral artery (AICA) and n. VIII (yellow arrow) (a) can be detected and demonstrated. However, to prove the so-called neurovascular conflict, it is necessary to demonstrate direct compression or dislocation of the nerve (green arrow in b). The 3D reconstruction shows a markedly coiled course of the artery (c).

10a



10b



**10 Pacientka s podezřením na syndrom krčního žebra.** Provedeno nejprve CT vyšetření s průkazem hypertrofického příčného výběžku a drobného krčního žebra. Následné MR vyšetření cílené na brachiální plexus prokázalo asymetrické zúžení nervové pochvy jednoho z trunků. Při cílené fúzi lze prokázat kompresi prostoru právě nalezeným krčním žebrem (barevná škála CT změněna na červenou).

**A patient with suspected cervical rib syndrome.** First CT examination with evidence of hypertrophic transverse process and small cervical rib. Subsequent MR examination targeting the brachial plexus showed an asymmetrical narrowing of the nerve sheath of one of the trunks. With targeted fusion, compression of the space with the cervical rib just found can be demonstrated (CT colour scale changed to red).

## Fúze nekontrastního a postkontrastního CT

Fúzi obrazů lze provést také v případě provedení nekontrastního a postkontrastního vyšetření a následně zvýraznit efekt podané kontrastní látky (obr. 8). V těchto případech pak je však nutné změnit barevné škálování postkontrastního vyšetření, nejlépe na výraznou barvu (červenou či oranžovou).

## Fúze komplementárních MR a CT obrazů

Provedení fúze různých MR sekvencí v rámci jednoho vyšetření je jednou z nejužívanějších technik. Jedná se hlavně o fúzi obrazů cílených na oblast zadní jámy a hlavových nervů. Díky fúzi cílené sekvence s „time-of-flight“ MR angiografií lze velmi exaktně detekovat a dokumentovat tzv. neurovaskulární konflikt (obr. 9).

Provedení fúze odlišných modalit je z hlediska koregistrace velmi obtížný, zejména pokud se neprovádí cílené skenování u hybridních metod. V některých případech je však minimálně pokus o provedení fúze výhodný pro prezentaci výstupů komplementárních metod, vzácně může i přispět k diagnostice. Při fúzi se opět nejedná o „odečtení“ obrazů, je nutná změna barevné škály jedné obrazové sady (nejčastěji CT) na výraznou barvu. Zároveň je často nezbytná manuální úprava koregistrace podle ostatních okolních struktur (obr. 10 a 11).

Jistě existuje množství dalších možností provedení fúze různých obrazových sad napříč modalitami s různým významem. Některé z nich se využívají v terapii či odběru biopsií (např. fúze MR a ultrazvukových obrazů při biopsii prostaty). Často se také využívají fúze k prezentačním a dokumentačním účelům, aby byla jen lepší přehlednost komplementárních nálezů z různých metod (obr. 12).

Nejnovější softwarové nástroje umožňují v současnosti i fúzi různých dat získaných při CT vyšetření duální energií nebo na nových spektrálních přístrojích. Tento způsob zobrazení jistě může přispět k využití této technologie (obr. 13).

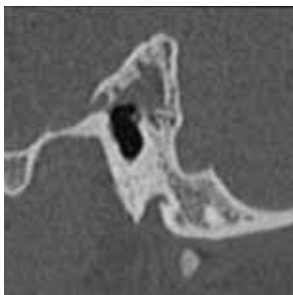
11a



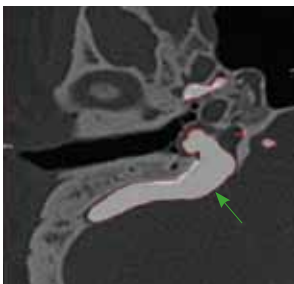
11b



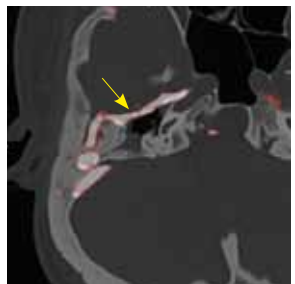
11c



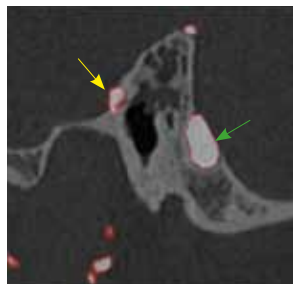
11d



11e



11f



## ZÁVĚR

Fúze obrazových dat může znamenat významný přínos v diagnostice a také zásadně přispět k prezentaci zjištěných změn. Současné softwarové nástroje umožňují její velmi jednoduché provedení v rutinní práci radiologa. ●

- 11 Pacientka s chronickým recidivujícím zánětlivým postižením pyramidy spánkové kosti.** Před operačním řešením bylo nutné ověřit podezření na úzký vzájemný vztah antrum mastoideum, středoušní dutiny a žilních struktur v okolí. Bohužel nebylo možné podání jodové kontrastní látky s alternativním provedením MR angiografie pomocí „time-of-flight“ sekvence. Následná fúze dokumentuje velmi těsný průběh anomální žilní větve (žlutá šipka) probíhající při přední stěně pyramidy s jen velmi tenkým septem, které jej odděluje od středoušní dutiny. Sinus petrosus inferior (zelená šipka) i superior (vrchol pyramidy bez šipky).

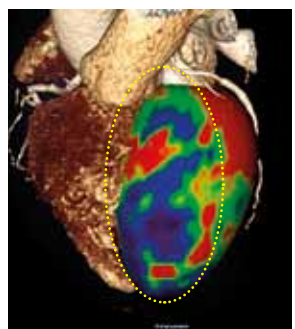
### A patient with chronic recurrent inflammatory disease of the temporal bone pyramid.

Prior to the surgery, it was necessary to verify the suspicion of a close relationship between the antrum mastoideum, the middle ear cavity and the venous structures. Unfortunately, it was not possible to administer an iodine contrast agent with an alternative of the „time-of-flight“ MR angiography. The subsequent fusion documents a very close course of the anomalous venous branch (yellow arrow) taking place at the front wall of the pyramid with only a very thin septum, which separates it from the middle ear cavity. Sinus petrosus inferior (green arrow) and superior (top of the pyramid without arrow).

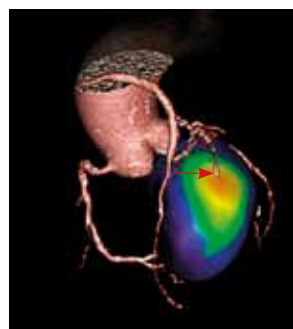
12a



12b



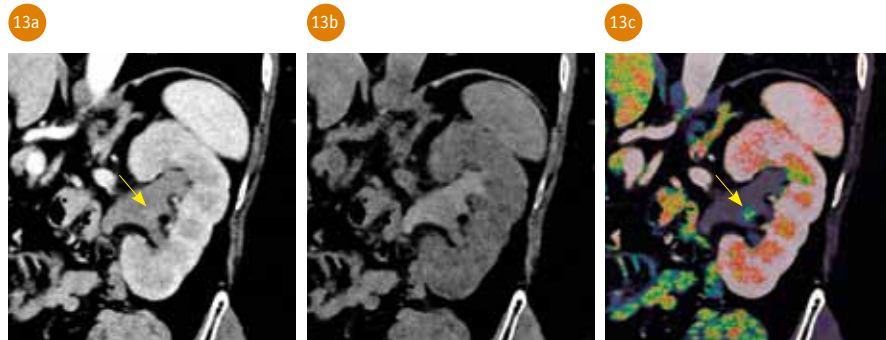
12c



- 12 Možnosti fúze morfologických a funkčních obrazů.** Pacient s uzávěrem ramus interventricularis anterior (a) a fúze obrazů CTA a perfuzních map. Dále pacient s patentním bypassem, ale novým uzávěrem ramus intermedius (červená šipka), kdy je provedena fúze 3D obrazu koronárního řečiště a zátěžové perfuzní scintigrafie, která ukazuje korespondující zátěž podmíněnou hypoperfuzí (b,c).

**Possibilities of fusion of morphological and functional images.** Patient with left anterior descending (LAD) occlusion (a) and fusion of CTA images and perfusion maps. Furthermore, a patient with a patented bypass, but a new occlusion of the ramus intermedius (red arrow), which is a fusion of a 3D image of the coronary artery and stress perfusion scintigraphy, which shows the corresponding stress-induced hypoperfusion (b,c).





**13** **Pacientka s hematurií a nálezem dilatované pánvičky (a).** Na virtuálně nekontrastní CT (VNC) rekonstrukci je patrná vysoká denzita odpovídající obsahu krve v pánvičce (b). Na obrázku c je patrná fúze VNC a jodové mapy, která ukazuje drobný vaskularizovaný uroteliální karcinom v dolní části pánvičky, který je v běžném zobrazení velmi špatně identifikovatelný.

**Patient with hematuria and dilated renal pelvis (a).** The virtually non-contrast CT (VNC) reconstruction shows a high density corresponding to the blood content in the pelvis (b). Figure c shows the fusion of the VNC and iodine map, which shows a small vascularized urothelial carcinoma in the lower part of the renal pelvis, which is very difficult to identify in the normal view.

#### LITERATURA

1. Polinati S, Bavirsetti DP, Rajesh KNVPS, Dhuli R. Multimodal Medical Image Fusion Based on Content-based and PCA-sigmoid. *Curr Med Imaging* 2022; 18(5): 546–562. doi: 10.2174/1573405617666211004114726
2. Yadav SP, Yadav S. Image fusion using hybrid methods in multimodality medical images. *Med Biol Eng Comput* 2020; 58(4): 669–687. doi: 10.1007/s11517-020-02136-6
3. Huang B, Yang F, Yin M, Mo X, Zhong C. A Review of Multimodal Medical Image Fusion Techniques. *Comput Math Methods Med* 2020; 23: 8279342. doi: 10.1155/2020/8279342
4. Bikash M, Sanjay A, Rutuparna P, Ajith A. A survey on region based image fusion methods. *Information Fusion* 2019; 48: 119–132. doi.org/10.1016/j.inffus.2018.07.010.
5. James AP, Dasarathy BV. Medical image fusion: A survey of the state of the art. *Information Fusion* 2014; 19: 4–19. doi.org/10.1016/j.inffus.2013.12.002.